

**INVESTIGACIÓN DE LA REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS EN
LAS CUENCAS DE LA PROVINCIA GUALIVÁ POR MEDIO DEL MÉTODO
ESTADÍSTICO ÍNDICE DE CRECIENTE.**

**PRESENTADO POR:
KAREN BRICEÑO AFANADOR- CÓDIGO: 504013
EDWIN YAMIT BELLO - CÓDIGO: 505614**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2018**

**INVESTIGACIÓN DE LA REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS EN
LAS CUENCAS DE LA PROVINCIA GUALIVÁ POR MEDIO DEL MÉTODO
ESTADÍSTICO ÍNDICE DE CRECIENTE.**

PRESENTADO POR:

**KAREN BRICEÑO AFANADOR- CÓDIGO: 504013
EDWIN YAMIT BELLO - CÓDIGO: 505614**

DIRECTOR

**ING. JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO
INGENIERO CIVIL MSC. EN RECURSOS HIDRÁULICOS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

Bogotá D.C., Junio 12, 2019

DEDICATORIA

Este homenaje es para nuestra familia que siempre estuvo acompañándonos en este proceso de formación, por apoyarnos en cada fase de este proceso, igualmente de confiar en nuestras capacidades y habilidades como profesionales y por la paciencia brindada en los obstáculos presentados durante la formación como ingeniero(a) civil.

KAREN BRICEÑO AFANADOR, EDWIN YAMIT BELLO.

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestro reconocimiento a los profesores y dirigentes de la facultad de ingeniería ya que en todo el proceso de la carrera persistentemente brindaron su apoyo absoluto, compartieron sus conocimientos, nos aportaron de su cognición y de lo fundamental para nosotros ser excelentes profesionales.

Damos gracias a Dios por proveer salud mental y física para poder culminar de manera exitosa la carrera como ingeniero(a) civil.

Además, queremos reconocer y retribuir a nuestro mentor de trabajo de grado, por ofrecer su apoyo, compartir su conocimiento y guiarnos en esta labor supremamente importante para la cúspide de nuestra carrera.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1 GENERALIDADES	18
1.1 ANTECEDENTES.....	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2.1 <i>Descripción del problema</i>	21
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	21
1.3 OBJETIVOS	22
PARA EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO SE ESTABLECEN LOS SIGUIENTES OBJETIVOS:	22
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	22
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	22
1.4 JUSTIFICACIÓN	22
1.4.1 <i>Alcance</i>	24
1.5 MARCO REFERENCIAL.....	24
1.5.1 <i>Marco teórico</i>	26
1.6.2 <i>Marco conceptual</i>	28
1.6.3 <i>Marco legal</i>	31
1.6 METODOLOGÍA	31
1.7.1 <i>Tipo de estudio</i>	32
1.7.2 <i>Fuentes de información</i>	32
2 INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA UTILIZADA.....	32
2.1 ESTACIÓN 1: 2306713 – SALITRE BLANCO	33
2.2 ESTACIÓN 2: 2120798- SAN ISIDRO	35
2.3 ESTACIÓN 3: 2306734- EL PUENTE	38
2.4 ESTACIÓN 4: 2306732 PASO DEL REJO TIGRE	41
2.5 ESTACIÓN 5: 2306711- PUENTE NARANJAL.....	44
2.6 ESTACIÓN 6: 2120870- LA IBERIA	47
2.7 ESTACIÓN 7: 2120877- CADILLAL.....	50
2.8 ESTACIÓN 8: BOCATOMA PIRINEOS – 2119718	53
2.9 ESTACIÓN 9: - 2120967 - PASO ANCHO	56
2.10 ESTACIÓN 10: - 2119733 – PUENTE NEGRO	59
3 ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN EN PROGRAMA SMADA TENIENDO EN CUENTA LOS CAUDALES MÁXIMOS DE LAS ESTACIONES ESTIPULADAS COMO REFERENCIA DE LA PROVINCIA DE GUALIVÁ CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.....	62

3.1	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 2306713 – SALITRE BLANCO.....	62
3.1.1	Análisis de distribución método (GEV).....	63
3.1.2	Análisis de distribución método normal	65
3.1.3	Análisis de distribución método Gumbel	67
3.2	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN2: 2120798- SAN ISIDRO	69
3.2.1	Análisis de distribución método (GEV).....	70
3.2.2	Análisis de distribución método normal	72
3.2.2	Análisis de distribución método Gumbel	74
3.3	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 3: 2306734- EL PUENTE.....	75
3.3.1	Análisis de distribución método (GEV).....	76
3.3.2	Análisis de distribución método normal – Estación el Puente.....	77
3.3.3	Análisis de distribución método gumbel – Estación el Puente	78
3.4	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 4: 2306732 PASO DEL REJO TIGRE	79
3.4.1	Análisis de distribución método (GEV).....	80
3.4.2	Análisis de distribución método normal	82
3.4.3	Análisis de distribución método Gumbel – Estación el Paso del Rejo	84
3.5	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 5: 2306711- PUENTE NARANJAL	86
3.5.2	Análisis de distribución método (GEV).....	87
3.5.3	Análisis de distribución método normal	89
3.5.4	Análisis de distribución método Gumbel – Estación Pte Naranjal.....	91
3.6	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 6: - 2120870- LA IBERIA	93
3.6.2	Análisis de distribución método (GEV).....	94
3.6.3	Análisis de distribución método normal	96
3.6.4	Análisis de distribución método Gumbel – Estación la Ibaria	98
3.7	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 7: - CADILLAL – 2120877.....	100
3.7.2	Análisis de distribución método (GEV).....	101
3.7.3	Análisis de distribución método normal	103
3.7.4	Análisis de distribución método Gumbel	105
3.8	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 8: - BOCATOMA PIRINEOS – 2119718 ...	107
3.8.2	Análisis de distribución método (GEV).....	108
3.8.3	Análisis de distribución método normal	110
3.8.4	Análisis de distribución método Gumbel	112
3.9	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 9: - 2120967 - PASO ANCHO	114
3.9.2	Análisis de distribución método (GEV).....	115
3.9.3	Análisis de distribución método normal	117
3.9.4	Análisis de distribución método Gumbel	119
3.10	CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 10: - 2119733 – PUENTE NEGRO	121
3.10.2	Análisis de distribución método (GEV).....	122
3.10.3	Análisis de distribución método normal.....	124
3.10.4	Análisis de distribución método Gumbel.....	126
4	CURVAS DE REGIONALIZACIÓN	128
4.1	REGIÓN 1	128
4.2	REGIÓN 2	129

4.3	RELACIÓN DEL CAUDAL MEDIO CON EL ÁREA AFERENTE EN LA REGIÓN 1.....	129
4.4	CURVA REGIONAL TOMANDO LAS ESTACIONES DE LA REGIÓN 1.....	130
4.5	RELACIÓN POTENCIAL ENTRE CAUDALES MÁXIMOS ANULES Y ÁREA AFERENTE EN LA REGIÓN 2.....	131
4.6	RELACIÓN ÍNDICE CRECIENTE PROMEDIO VS PERIODO DE RETORNO	132
5	DATOS OBTENIDOS MÉTODO ÍNDICE CRECIENTE	134
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
6.1	CONCLUSIONES.....	137
6.2	RECOMENDACIONES	138
7	BIBLIOGRAFÍA	139
8	ESTADO DEL ARTE	142

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Salitre blanco.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2 Estación San Isidro.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3 Estación el puente</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4 Estación paso del rejo tigre</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5 Estación Puente Naranjal.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 6 Estación La Iberia</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7 Estación Cadillal</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8 Estación Bocatoma Pirineos.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9 Estación Paso Ancho.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 10 Estación Puente negro</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 11 Caudales máximos estación salitre blanco.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 12 Método GEV estación salitre blanco</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 13 método de distribución normal estación salitre blanco</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 14 método de distribución Gumbel estación salitre blanco</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 15 Caudales máximos estación san isidro.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 16 Método de distribución GEV estación San Isidro</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 17 método de distribución normal estación San Isidro</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 18 método de distribución Gumbel estación san isidro</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 19 Caudales máximos estación San isidro</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 20 método de distribución Gumbel estación el Puente.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 21 Método de distribución normal estación el Puente</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 22 Método de distribución Gumbel estación el Puente</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 23 Caudales máximos estación el Paso del Rejo</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 24 Método de distribución GEV estación paso del rejo.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 25 método de distribución normal estación Paso del rejo</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 26 Método de distribución Gumbel estación paso del rejo.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 27 Caudales máximos estación Pte. Naranjal</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 28 Método de distribución GEV estación Pte. Naranjal.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 29 método de distribución normal estación Pte. Naranjal.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 30 Método de distribución Gumbel estación Pte. Naranjal</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 31 Caudales máximos estación la Iberia.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 32 Método de distribución GEV Estación la Iberia.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 33 método de distribución normal estación la iberia</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 34 Método de distribución Gumbel estación la Iberia</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 35 Caudales máximos estación Cadillal.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 36 método de distribución GEV estación cadillal.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 37 método de distribución Normal estación Cadillal.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 38 método de distribución Gumbel estación Cadillal.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 39 caudales máximos estación bocatoma pirineos</i>	<i>107</i>

<i>Tabla 40 método de distribución GEV estación bocatoma pirineos.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 41 Método de distribución normal estación Bocatoma Pirineos.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 42 Método de distribución Gumbel estación Bocatoma Pirineos.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 43 Caudales máximos estación Paso Ancho.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 44 Método de distribución GEV estación Paso Ancho</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 45 Método de distribución normal estación Paso Ancho.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 46 Método de distribución Gumbel estación Paso Ancho.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 47 Caudales máximos estación Puente Negro</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 48 Método de distribución GEV estación Puente Negro</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 49 método de distribución normal estación Puente Negro.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 50 Método de distribución Gumbel estación Puente Negro.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 51 estaciones región 1</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 52 Estaciones región 2.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 53 Relación entre caudal máximo y caudal medio anual.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 54 relación entre caudal máximo y caudal medio anual región 2.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 55 Caudales máximos observados y simulados Región 1.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 56 error absoluto medio R.1</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 57 Revalidación de datos R.1</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 58 caudales máximos observados y simulados Región 2</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 59 error absoluto medio R.2</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 60 revalidación de datos R.2.....</i>	<i>136</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i> provincia de Gualivá.....	25
<i>Ilustración 2</i> Localización salitre blanco.....	35
<i>Ilustración 3</i> localización estación San Isidro.....	37
<i>Ilustración 4</i> Localización estación El Puente	40
<i>Ilustración 5</i> Localización estación Paso del rejo tigre	43
<i>Ilustración 6</i> Localización estación La iberia.....	49
<i>Ilustración 7</i> Localización estación Cadillal	52
<i>Ilustración 8</i> Localización estación Bocatoma Pírneos	55
<i>Ilustración 9</i> Localización estación Paso Ancho	58
<i>Ilustración 10</i> Localización estación Puente Negro.....	61

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Perfil longitudinal.....	33
Gráfica 2 Curva hipsométrica	33
Gráfica 3 Altitudes vs límite inferior.....	34
Gráfica 4 Perfil longitudinal San Isidro.....	36
Gráfica 5 Curva hipsométrica	36
Gráfica 6 % Altitudes vs límite inferior.....	37
Gráfica 7 Perfil longitudinal estación Los Tanques	39
Gráfica 8 Curva hipsométrica	39
Gráfica 9 % Altitudes vs límite inferior.....	40
Gráfica 10 Perfil longitudinal – Paso del rejo tigre	42
Gráfica 11 curva hipsométrica.....	42
Gráfica 12 % Altitudes vs límite inferior	43
Gráfica 13 Perfil longitudinal estación Puente Naranjal	45
Gráfica 14 Curva hipsométrica estación Puente Naranjal.....	45
Gráfica 15 Altitudes vs límite inferior.....	46
Gráfica 16 Localización estación Puente Naranjal	46
Gráfica 17 Perfil longitudinal La iberia.....	48
Gráfica 18 Curva hipsométrica La iberia	48
Gráfica 19 Altitudes vs límite inferior.....	49
Gráfica 20 Perfil longitudinal Cadillal.....	51
Gráfica 21 Curva hipsométrica estación Cadillal	51
Gráfica 22 % Altitudes vs límite inferior	52
Gráfica 23 Perfil longitudinal Bocatoma Pírneos	54
Gráfica 24 Curva hipsométrica estación Bocatoma Pírneos.....	54
Gráfica 25 % Altitudes vs límite inferior	55
Gráfica 26 Perfil longitudinal Paso Ancho.....	57
Gráfica 27 Curva hipsométrica estación Paso Ancho.....	57
Gráfica 28 % Altitudes vs límite inferior	58
Gráfica 29 Perfil longitudinal Puente Negro.....	60
Gráfica 30 Curva hipsométrica estación Puente Negro.....	60
Gráfica 31 % Altitudes vs límite inferior	61
Gráfica 32 Grafica de distribución GEV vs Weibull probabilities.....	64
Gráfica 33 Distribución normal vs Weibull probabilities	66
Gráfica 34 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities – Estación salitre blanco	68
Gráfica 35 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities San Isidro	71
Gráfica 36 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities San Isidro	73
Gráfica 37 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities	75
Gráfica 38 Distribución GEV vs Weibull probabilities.....	76
Gráfica 39 Distribución Normal vs Weibull probabilities El Puente.....	77
Gráfica 40 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities El Puente	78
Gráfica 41 distribución GEV vs Weibull probabilities Paso del rejo tigre.....	81

Gráfica 42 Distribución Normal vs Weibull probabilities Paso del rejo tigre	83
Gráfica 43 distribución Gumbel vs Weibull probabilities.....	85
Gráfica 44 Distribución GEV vs Weibull probabilities Pte Naranjal.....	88
Gráfica 45 Distribución normal vs Weibull probabilities Pte Naranjal	90
Gráfica 46 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities Pte Naranjal	92
Gráfica 47 Distribución GEV vs Weibull probabilities Estación la Iberia.....	95
Gráfica 48 Distribución normal vs Weibull probabilities Estación la Iberia	97
Gráfica 49 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities la Iberia	99
Gráfica 50 Distribución GEV vs Weibull probabilities Estación Cadillal.....	102
Gráfica 51 Distribución Normal vs Weibull probabilities Estación Cadillal.....	104
Gráfica 52 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities Estación Cadillal.....	106
Gráfica 53 Distribución GEV vs Weibull probabilities - Estación Bocatoma Pirineos.....	109
Gráfica 54 Distribución normal vs Weibull probabilities - Estación Bocatoma Pirineos.....	111
Gráfica 55 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities - Estación Bocatoma Pirineos.....	113
Gráfica 56 Distribución GEV vs Weibull probabilities - Estación Paso Ancho.....	116
Gráfica 57 Distribución normal vs Weibull probabilities - Estación Paso Ancho.....	118
Gráfica 58 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities - Estación Paso Ancho.....	120
Gráfica 59 Distribución GEV vs Weibull probabilities - Estación Pte Negro.....	123
Gráfica 60 Distribución normal vs Weibull probabilities - Estación Puente Negro.....	125
Gráfica 61 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities - Estación Pte Negro	127
Gráfica 62 Relación del caudal medio con el área aferente en la región 1.....	129
Gráfica 63 Curva regional de frecuencia R. 2.....	131
Gráfica 64 Relación potencial entre caudales máximos anuales y área afrente.....	132
Gráfica 65 Curva regional de frecuencia R. 2.....	133

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se aplicó el método de índice de creciente para la provincia de Gualivá, en el cual se toman datos de los caudales máximos anuales promedio de estaciones establecidas en las corrientes que pasan sobre la región ya mencionada. Este análisis se realiza teniendo en cuenta que en la región de Gualivá se desarrollan actividades de pesca, ganadería y agricultura principalmente, por ende, es de vital importancia observar el comportamiento de los caudales en diferentes periodos de retorno, dado a que se pueden presentar afectaciones a el entorno llevando consigo un desarrollo negativo a las actividades agrícolas propias de esta zona, puesto a que se pueden presentar grandes crecientes en las diferentes corrientes hidrológicas que conforman la jurisdicción evaluada.

El conocimiento de los caudales máximos en estas subcuencas nos proporciona información para el desarrollo de estudios en los que se evaluara con mayor facilidad los caudales de diseño para nuevas obras civiles, viales e hidráulicas.

Para con la recolección de datos se indago en la documentación de la CAR (Corporación Autónoma Regional) y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), obteniendo con ellos la morfología de las subcuencas que conforman la provincia a evaluar y las corrientes que pasan por el mismo. Se tomaron datos relevantes para el análisis del método de índice creciente como área aferente, caudales máximos anuales y longitud de drenaje.

Para el desarrollo del trabajo de grado se utilizó como base el software SMADA, en el cual se tomaron periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50,100, aplicando los diferentes caudales máximos anuales. Con los datos obtenidos se realizó el análisis de las gráficas de relación de caudal medio vs el área aferente para la obtención de una ecuación que permita simular los caudales de una subcuenca sin datos registrados y así concluir con el método de índice de creciente.

PALABRAS CLAVE: CAUDAL, REGIONALIZACIÓN, ÍNDICE CRECIENTE, ESTACIONES HIDROLÓGICAS, CUENCA, SUBCUENCA, TIEMPO DE RETORNO, PROVINCIA DE GUALIVÁ.

ABSTRACT

In the present work of degree, the method of index of increasing for the province of Gualivá was applied, in which data of the average annual maximum flows of stations established in the currents that happen on the region already mentioned are taken. This analysis is carried out taking into account that in the Gualivá region fishing, livestock and agriculture activities are mainly developed, therefore, it is vital to observe the behavior of the flows in different periods of return, given that there may be damages. to the environment taking with it a negative development to the own agricultural activities of this zone, since to that great increases in the different hydrologic currents can appear that conform the evaluated jurisdiction.

The knowledge of the maximum flows in these sub-basins provides information for the development of studies in which the design flows for new civil, road and hydraulic works will be more easily evaluated.

In order to collect data, we investigated the documentation of the CAR (Regional Autonomous Corporation) and the IDEAM (Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies), obtaining with them the morphology of the sub-basins that make up the province to be evaluated and the currents who go through it Relevant data were taken for the analysis of the growing index method as afferent area, maximum annual flows and drainage length.

For the development of the degree work, the SMADA software was used as a base, in which return periods of 2.33, 5, 10, 25, 50, 100 were taken, applying the different annual maximum flows. With the obtained data, the analysis of the graphs of average flow ratio vs the afferent area was made to obtain an equation that allows to simulate the flows of a sub-basin without registered data and thus conclude with the growing index method.

KEYWORDS: *FLOW, REGIONALIZATION, GROWING INDEX, HYDROLOGICAL STATIONS, BASIN, SUB-BASIN, RETURN TIME, PROVINCE OF GUALIVÁ.*

INTRODUCCIÓN

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima tales como la topografía, la geología y la vegetación. Los procesos hidrológicos transforman la distribución espacial y temporal del agua a través del ciclo hidrológico.

Para llevar a cabo la regionalización, se utilizará el método de índice creciente en diversos sitios para la estimación de caudales máximos para el desarrollo de obras civiles. Para la aplicación de este método se tendrá en cuenta diferentes cuencas sobre las cuencas de la provincia gualina. Esta información fue recopilada del IDEAM y la CAR, en el cual se toman diferentes estaciones sobre cuencas de diferentes áreas, en el cual se trabajará con diversos periodos de retorno.

El movimiento del agua es un sistema hidrológico es influido por las propiedades físicas del sistema, tales como el tamaño y la forma de sus líneas de corriente, y por la interacción del agua con otros medios como el aire y el calor. El cambio de fase de agua entre la fase líquida, sólida y de vapor son importantes en algunos casos. En hidrología la geomorfología de la cuenca, o estudio cuantitativo de la forma del terreno superficial, se utiliza para hacer medidas de similitud geométrica entre cuencas especialmente entre sus ríos. Las mediciones hidrológicas se hacen con el fin de obtener información de los procesos hidrológicos. Esta información se utiliza para entender mejor los procesos y como información de entrada en modelos de simulación hidrológica para el diseño, análisis y toma de decisiones. (CHOW, 1993).

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El propósito de la regionalización hidrológica es la transferencia de información de las cuencas aforadas a las no aforadas de una misma región hidrológica (tuco, 1983). El objetivo de los métodos estadísticos regionales es permitir establecer regiones homogéneas para la estimación de caudal o lluvia en puntos sin medición, así como permitir un tratamiento más robusto con el conjunto de estaciones que se consideren homogéneas. Estos métodos requieren tres fases en su aplicación: Identificar la región, establecer características conocidas de las estaciones (coordenadas, altitud, edafología, climatología, etc.) y los parámetros o estadísticos a estimar. Ferrer (1996) cita que estas condiciones definen tres tipos de métodos para la delimitación de regiones: el geográfico, el estadístico y el de regiones de características específicas. (CARVAJAL, 1996)

El método geográfico consiste en agrupar las estaciones en función de sus coordenadas, frecuentemente, coincidiendo con divisiones administrativas. Tiene la ventaja de permitir asignar un punto sin registro pluviométrico o una cuenca sin datos de caudal. Sin embargo, puede plantear problemas con la homogeneidad de la región. Debido a la relativa continuidad espacial de las lluvias, es más coherente definir regiones geográficas en un análisis de lluvias que en uno de caudal, porque en éste último, las cuencas vecinas, pueden presentar entre otras, características edafológicas, geológicas, o de cobertura vegetal diferentes. El método estadístico permite clasificar las estaciones según su comportamiento estadístico, para definir los grupos homogéneos. A diferencia del anterior, emplea algoritmos automáticos de análisis discriminante, factorial o de clúster. La bibliografía reporta varios casos de aplicación: De Coursey (1973) en EU clasificó 90 estaciones de caudal, en tres grupos, aplicando análisis discriminante, basándose en tres estimaciones empíricas de 4 cuantiles de crecientes. Mosley (1981) empleó el cluster jerarquizado en Nueva Zelanda para agrupar estaciones de caudal teniendo en cuenta la proximidad en un espacio bidimensional conformado por el Cv y el caudal medio específico (m^3/Km^2) de los registros de caudal máximo. Recientemente, ARIDE (2001) aplicó el mismo método para clasificar 5244 estaciones de caudal, en grupos con un patrón climático común, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson como medida de similaridad. (CARVAJAL, 1996)

Los algoritmos de cluster jerarquizado agrupan estaciones progresivamente, clasificándolas en diferentes grupos, hasta minimizar la suma total del cuadrado de las distancias de cada una al centroide de cada grupo en diferentes etapas. Esto conduce normalmente, a una o dos regiones importantes con pequeños grupos en la periferia. Así lo mencionan Mosley (1981) y Acreman y Sinclair (1986). Es de los métodos más empleados, Wiltshire (1986) y Wiltshire y Beran (1987^a) lo emplearon para agrupar 376 estaciones de caudal en Gran Bretaña. E Instituto del Agua (1992) analizado, lluvias máximas diarias, empleando cluster no jerarquizado como primera aproximación en la determinación de las regiones. (CARVAJAL, 1996)

El método ofrece mejores resultados en lluvias. Mosley (1981) obtuvo una coherencia espacial de la agrupación estadística en la zona sur de Nueva Zelanda, con gran dispersión espacial de los resultados en la zona norte. Otra desventaja, es la dificultad para asignar un punto sin registros de determinada región en un conjunto de regiones previamente definidas porque no se conocen los valores estadísticos empleados como discriminantes en la clasificación. Esto se resuelve en el caso de lluvias, si la clasificación estadística tiene una adecuada correspondencia geográfica, mientras que, en el caso de caudal, se resuelve si se encuentran relaciones entre las características estadísticas discriminantes y determinadas características específicas de las cuencas: fisiográficas, meteorológicas, etc. Otro inconveniente es que emplea estadísticos muestrales que tienen asociados una elevada varianza. En este sentido, las agrupaciones realizadas pueden amplificar artificialmente unas diferencias entre regiones que en gran parte pueden deberse a un simple efecto aleatorio. Esta dificultad se abordó en el estudio, realizando preliminarmente un ACP para disminuir dicho ruido. (CARVAJAL, 1996)

El método de características específicas, es muy empleado en análisis de caudal y menos en lluvia, dada la necesidad de estimar caudal en cuencas sin aforo cuando sólo se dispone de las características fisiográficas, edafológicas y meteorológicas. Asumiendo grupos previos con criterios estadísticos, el análisis discriminante asume que las m características específicas seleccionadas siguen una distribución normal adimensional y que su matriz de covarianzas es común para todos. Bajo estas hipótesis se aplica el teorema de Bayes para obtener la probabilidad de que una estación con unas características específicas dadas pertenezca a un grupo preexistente, asignando finalmente la estación al punto con mayor probabilidad de pertenencia. En este método se emplean unas características específicas que luego clasifican aplicando análisis factorial, cluster o discriminante. (CARVAJAL, 1996)

El análisis discriminante permite clasificar estaciones en función de determinadas características específicas y cuantificar la probabilidad de que una de ellas pertenezca a uno de los grupos previamente formados con otros criterios. La clasificación en función de características específicas difícilmente se confirma al comparar los estadísticos observados, por lo que es preferible utilizar características estadísticas. Wiltshire (1987^a) aplicó Análisis discriminante para clasificar una cuenca, conociendo 9 de sus características específicas, en uno de los 10 grupos previamente definidos estadísticamente. La comprobación realizada en 376 estaciones de caudal dió clasificaciones muy diferentes. Resultados similares reporta FRENED (1989) al aplicar el método en cuencas de Europa asumiendo 10 grupos ya existentes y 7 características específicas. Esto indica la dificultad para relacionar estadísticos de caudal y características específicas de las cuencas. (M. Álvarez, DICIEMBRE 1999)

Métodos estadísticos de regionalización de las series de precipitación

Hay diferentes criterios para calcular distancias entre datos y variables, así como para combinarlos en los clusters. El más habitual y utilizado es el análisis cluster jerárquico aglomerativo. En éste, los clusters son formados agrupando en clusters cada vez más grandes hasta que todos forman parte de uno único. Como medida de similitud, se empleó el promedio entre grupos del coeficiente de correlación, y se definió la distancia entre dos clusters como la media de los coeficientes de correlación entre todas las combinaciones posibles dos a dos de los datos de uno y otro cluster. El procedimiento se repitió, conformando grupos desde $n = 1$ hasta 49 estaciones, a partir de la matriz 49×324 meses (27 años). Se determinó el número de grupos homogéneos graficando los grupos conformados versus el coeficiente de correlación promedio de Pearson entre los grupos establecidos. Obteniendo el número de grupos en el punto donde ocurre un cambio significativo de la misma.

Métodos estadísticos de comprobación. Como métodos estadísticos de comprobación, para verificar la clasificación de los grupos homogéneos, se emplearon los métodos de Dalrymple (1960), Wiltshire y Berán (1987b) y el Análisis Discriminante a las 10 primeras componentes principales de los datos de precipitación. Así mismo, se verificó la consistencia geográfica de la agrupación estadística realizada, confirmando una distribución espacial coherente de las estaciones de cada grupo. (NUÑEZ, 2015)

Método de Dalrymple (1960). Analiza la variabilidad de las estimaciones del cuartil De $Tr=10$ años, asumiendo una función de distribución EV1 para la serie de

máximas precipitaciones mensuales, y una distribución normal de las estimaciones de los cuantiles, para determinar la región de confianza del 95% para el cuantil de 10 años, en función de la longitud de la serie. Los límites de confianza son expresados en años y comparados con el Tr asociado al cuantil regional de 10 años resultante de un ajuste local gráfico a los datos de cada estación. Una estación cuyo Tr asociado no está incluido en los límites de confianza, es excluida de la región.

Método de Wiltshire y Berán (1987b). Aplicaron un método, empleando un estadístico R que mide la variación en la región del valor G' , definido para cada estación j. (CARVAJAL, 1998)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

Para algunas obras civiles debemos tener en cuenta el crecimiento de los caudales en una cuenca, analizando series de datos de registros en estaciones hidrometeorológicas para concluir hasta qué punto puede aumentar el cauce, debido a que no hay suficientes estaciones para la región de Gualivá mediante el método del índice de creciente se podrá hacer predicciones del caudal máximo de una subcuenca sin registros dados por alguna estación teniendo en cuenta el área aferente de la misma, debemos regionalizar provincias para los sitios donde carecemos de datos históricos para facilitar al momento de construir una obra aledaña a un río como los puentes, con esto se facilitará el proceso constructivo al momento de ejecutar dicha obra debido a que no se cuenta con suficientes estaciones para la toma de registros históricos.

Hay que calcular caudales máximos con diferentes periodos de retorno partiendo de estaciones activas para desarrollar el método de índice de creciente y llegar a una fórmula que nos ayude a estimar caudales en sitios donde no existe información hidrológica para la provincia escogida.

1.2.2 Formulación del problema

¿Se podrá determinar caudales máximos en sitios donde la provincia carece de información hidrológica con diferentes tiempos de retorno utilizando el método de índice de creciente y poderlo aplicar en obras de construcción?

1.3 OBJETIVOS

Para el presente trabajo de grado se establecen los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo general.

Investigar la regionalización de caudales máximos en las cuencas de la provincia Gualivá por medio del método estadístico índice de creciente.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar las cuencas hidrográficas seleccionando estaciones de la provincia Gualivá con series históricas representativas que tengan caudales máximos.
- Estudiar fisiografía determinando área, perímetro, longitud y principales parámetros fisiográficos de las cuencas.
- Realizar estudios hidrológicos determinando caudales máximos con diferentes periodos de retorno.
- Realizar análisis estadísticos, determinando caudales máximos con diferentes periodos de retornos para cada estación seleccionada.
- Estudiar la regionalización de los caudales máximos para diferentes sitios de las cuencas utilizando el método de índice creciente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la alarmante evidencia de las cada vez más graves inundaciones periódicas que suceden en las zonas pobladas y de alta producción agrícola del país hace inaplazable la iniciación de un estudio ordenado del fenómeno hidrológico y físico y de las consecuencias económicas del desbordamiento de los cauces fluviales, cuyo objetivo es el desarrollo de las metodologías para la evaluación del fenómeno y el análisis de las posibles medidas de su control. (IDEAM, 1995)

De tal manera, uno de los principales problemas que se presentan en la hidrología para la realización de estudios y proyectos en general, bien sea a nivel local o regional, es la carencia de datos precisos y confiables de caudales, precipitaciones y de otros fenómenos climatológicos. Estas limitaciones hacen indispensable el

empleo de modelos estadísticos, que permitan extrapolar la información para uso adecuado en otras cuencas o sitios de interés en proyectos específicos. (IDEAM, 1995)

Teniendo en cuenta lo anterior se analizará especialmente el problema de la sequía y su consecuencia sobre la subcuenca, para que sobre esta se aplique las medidas necesarias por parte de las autoridades ambientales delegadas para evitar efectos contrarios que puedan repercutir en las asociaciones y entornos que dependen de la cuenca. (IDEAM, 1995)

1.4.1 Alcance

- Realizar una recopilación de datos de los caudales máximos en diversas estaciones de las cuencas sobre la provincia de Gualivá, para determinar el comportamiento de frecuencia de crecientes mediante el método estadístico índice de creciente.

1.5 MARCO REFERENCIAL

PROVINCIA GUALIVÁ

La provincia del Gualivá está ubicada sobre la ladera occidental de la cordillera oriental, entre alturas que van desde los 500 m.s.n.m. (en Utica) hasta los 3000 m.s.n.m. en el Cerro del Tablazo (municipio de Supatá).

Límites geográficos: Esta provincia limita por el Oriente con la sabana de Bogotá, específicamente con los municipios de: Subachoque, El Rosal y Facatativá; por el Occidente con la provincia del bajo Magdalena, municipios de Guaduas y Caparrapí; por el Sur con las provincias del Tequendama y Magdalena centro, municipios de: Vianí, Bituima, Anolaima y Guayabal de Siquima; y por el Norte con la provincia del Rionegro, municipios de: La Palma, El Peñón y Pacho.

Conformación de la Provincia: Hacen parte de la provincia los municipios de: Albán, Sasaima, Villeta, Utica, Quebrada negra, Nimaima, Vergara, Nocaima, San Francisco, La Vega, La Peña, Supatá.

Extensión la Provincia tiene una extensión de 1284.92 km² (Ver Tabla N° 1), equivalente a 128.492 hectáreas, que corresponde al 5.63% del territorio del departamento de Cundinamarca.

Temperatura: La provincia goza de una diversidad climática producto de sus condiciones topográficas y de la ubicación geográfica. Así por ejemplo, la temperatura varía desde los 26° C en la cercanía a la ribera del río del Río Negro hasta los 8°C aproximadamente en el Cerro del Tablazo, aunque es muy uniforme en sus regiones y pisos térmicos.

Hidrografía: La provincia del Gualivá hace parte de la gran cuenca del río Negro y en ella hay dos subcuencas, que son:

Subcuenca hidrográfica del río Villeta o Tobia. Código 230605.: la subcuenca del Río Villeta abarca 943.29 km² y una longitud del río de 75.9 kilómetros. En la inspección de Tobia, límites de los municipios de Nimaima, Quebradanegra, La Peña y Utica el río Villeta desemboca al río Negro.

Subcuenca hidrográfica del río Pinzaima-Supatá. Código 230604. La subcuenca del río Pinzaima tiene una extensión de 267.94 km² y un recorrido de 76.8 kilómetros. Nace en la parte alta del municipio de Supatá en el cerro El Tablazo y es una de las principales fuentes de agua para acueductos urbanos y rurales de los municipios de Supatá, Nimaima y Vergara. Fuente: (MAYORGA, FEBRERO DE 2004)

Ilustración 1 provincia de Gualivá



Fuente de elaboración: https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_del_Gualiv%C3%A1

1.5.1 Marco teórico

1.5.1.1 Método L- momentos

El método L-Momentos es una gran herramienta para la regionalización de datos hidrológicos, permitiendo de esta manera obtener caudales de diseños en una zona de proyecto. Es un método fundamentado en la estadística y es considerado en la actualidad como el método más preciso, porque involucra no solo la supervisión de los datos, sino también la identificación de zonas homogéneas, comprende además la selección de la distribución de frecuencia regional y la estimación de los caudales de diseños (Eslava, 2011).

Los L - momentos constituyen un sistema alternativo a los momentos convencionales, y surgen de las combinaciones lineales de los momentos ponderados probabilísticamente.

Los momentos lineales surgen de combinaciones lineales de los momentos ponderados probabilísticamente, introducidos por Greenwood et al. (1979), y constituyen un sistema alternativo al método tradicional de los momentos convencionales para describir las funciones de distribución.

Se puede afirmar que, conceptualmente, los L-momentos son semejantes a los momentos convencionales. Sin embargo, Hosking y Wallis (1997) constatan que son varias las ventajas de los primeros desde el punto de vista teórico: capacidad para caracterizar un mayor rango de funciones de distribución, mayor robustez en presencia de outliers y menor sensibilidad a la asimetría, entre otras.

(SALAZAR, 2011)

1.5.1.2 Periodo de retorno

en hidrología, normalmente se prefiere trabajar con periodos de retorno en lugar de probabilidades, pues es un concepto que resulta más claro ya que tiene las mismas unidades (tiempo) que la vida útil de las obras de ingeniería construidas para fines hidrológicos, lo que permite hacer una mejor comparación (Díaz, 2005).

1.5.1.3 Distribuciones de probabilidad teóricas

También conocidas como funciones de densidad de probabilidad, a través de estas se describe el comportamiento de las variables aleatorias discretas o continuas. Las distribuciones de probabilidad están relacionadas con la distribución de frecuencias.

De hecho, se puede pensar en la distribución de probabilidad como una distribución de frecuencias teórica. Una distribución de frecuencias teórica es una distribución de probabilidades que describe la forma en que se espera que varíen los resultados. Debido a que estas distribuciones tratan sobre expectativas de que algo suceda, resultan ser modelos útiles para hacer inferencias y tomar decisiones de incertidumbre (SERGAS, 2014)

1.5.1.4 Método índice de creciente.

Este método fue propuesto por Dalrymple (1960), es una de las primeras aproximaciones a la estimación regional de frecuencias. Este método supone que los máximos anuales dentro de una región, siguen una misma función de distribución, lo que la convierte en una región homogénea. Un supuesto clave del método del índice de creciente es que el dato de las inundaciones en diferentes sitios en una región homogénea tiene la misma distribución, con excepción de un parámetro de escala o un factor de índice. El factor de escala es nombrado como un índice de las inundaciones y se toma generalmente para ser la inundación anual media. (DIAZ, 2005)

1.5.1.5 Caudal máximo

Caudal máximo los caudales máximos son flujos extremos que se presentan en las corrientes de agua los cuales son influenciados directamente como se menciona anteriormente por el comportamiento de la precipitación y las características físicas propias de la cuenca. Los flujos extremos que se presentan en la cuenca magdalena-cauca en las diferentes épocas del año representan un sin número de situaciones que obligan a realizar un análisis profundo a su comportamiento en el tiempo. El IDEAM es una de las entidades encargadas del monitoreo del comportamiento hidrológico del país, y registra los caudales máximos instantáneos obtenidos directamente de las estaciones hidrométricas que operan las cuales se encuentran distribuidas en el territorio colombiano. (Diaz, 2005)

1.5.1.6 Método estaciones-año

Esta técnica consiste en la confección de un único registro de caudales, constituido por los valores estandarizados de eventos, el cual una vez que se construye se ajusta a un conjunto de distribuciones de probabilidad. Esta técnica regional, a diferencia de otras, no requiere que las muestras tengan una longitud de registro común. (Eslava, 2011).

1.5.1.7 Regionalización

La regionalización es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de 34 caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos, que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones a períodos de retorno mayores que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante, mientras que, en interpolaciones, la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar; en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles. (Eslava, 2011).

1.5.1.8 Pruebas de bondad de ajuste

El propósito de las pruebas de bondad de ajuste es únicamente responder a la cuestión de si los datos se desvían una cantidad estadísticamente significativa respecto al modelo de predicción.

Estas pruebas de bondad de ajuste consisten en formular una hipótesis, llamada hipótesis nula (H_0), acerca de cuál distribución siguen los datos, está por lo general es el modelo propuesto por el ingeniero. (Eslava, 2011).

1.6.2 Marco conceptual

Para el avance del proyecto, se deberán tener en cuenta los siguientes conceptos en hidrología:

1.6.2.1 Caudales máximos

Los caudales máximos son flujos extremos que se presentan en las corrientes de agua los cuales son influenciados directamente por el comportamiento de la precipitación y las características propias de la cuenca (MARTINEZ, 2005)

1.6.2.2 Periodo de retorno:

Es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos, es un concepto estadístico que intenta proporcionar una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro. Suele calcularse mediante distribuciones de variables, sobre la base de valores extremos registrados dentro de periodos iguales y consecutivos, un ejemplo de ello en hidrología se recopila información con la precipitación máxima recogida en 24 horas en un año, durante una serie de años consecutivos. (POSTGRADUADOS, 2012)

1.6.2.3 Función de distribución:

La función de distribución describe el comportamiento probabilístico de una variable aleatoria X asociada a un experimento aleatorio, para estudiar la función de distribución se debe distinguir entre el caso discreto y el caso continuo. (DIAZ, 2005)

1.6.2.4 Ciclo hidrológico:

El agua que hoy en día se utiliza para diferentes fines es la misma que se ha estado utilizando desde hace millones de años. Este recurso se ha conservado casi igual tanto en cantidad como en tipo desde la formación de la tierra. El agua se presenta en tres estados: sólido, líquido o gaseoso, y se recicla constantemente, es decir se limpia y se renueva por acción del sol, la tierra y el aire, para mantener el equilibrio en la naturaleza. La infinita circulación del agua se conoce como el ciclo hidrológico (ROMÁN, JUNIO 2013)

1.6.2.5 Tipos de precipitación:

La precipitación lleva a menudo el nombre del factor responsable del levantamiento del aire que produce el enfriamiento en gran escala y necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, en base a ello se distinguen tres tipos de precipitación:

1.6.2.6 Precipitación ciclónica:

Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, una caliente (color rojo) y otra fría (color azul) y converge en zonas de bajas presiones (ciclones); las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación.

1.6.2.7 Precipitación convectiva:

Se presenta cuando una masa de aire que se calienta tiende a elevarse, por ser el aire cálido menos pesado que el aire de la atmósfera circundante.

1.6.2.8 Precipitación orográfica:

Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujado por el viento hacia las montañas, donde las nubes siguen por las laderas de las montañas y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. (VARAS. 2005)

1.6.2.9 Cuenca

Es una unidad del territorio en donde funciona la combinación de un subsistema hídrico que produce agua, simultáneamente con los subsistemas ecológico, económico, social y político. (RAMSAR, 2010)

1.6.2.10 Cuenca hidrográfica:

Se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común. (RAMSAR, 2010)

1.6.3 Marco legal

- Plan de Gestión Ambiental Regional 2015-2031:

El Plan de Gestión Ambiental Regional es el instrumento de planificación estratégico de largo plazo de las Corporaciones Autónomas Regionales para el área de jurisdicción, que permite orientar su gestión e integrar las acciones de todos los actores regionales con el fin de que el proceso de desarrollo avanece hacia la sostenibilidad de las regiones. (1269, 31 DE JULIO DE 2014)

- Decreto No. 1076 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Decreto No. 1640 de 2012: Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
- Decreto No. 2667 de 2012: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.
- Decreto No. 0303 de 2012: Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 64 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
- Resolución No. 959 de 2018 mayo 31 de 2018: Por medio de la cual se reglamenta parcialmente el artículo 2.2.3.3.1.7 del Decreto 1076 de 2015 y se dictan otras disposiciones.
- Resolución No. 0631 de 2015: Por la cual se establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
- Resolución No. 1207 de 2014: Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. (Minambiente, 2019)

1.6 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se han establecido diversos puntos para que el proceso y el énfasis de este proyecto sea el adecuado, estos son los siguientes:

Para el desarrollo del proyecto se han establecido diversos puntos para que el proceso y el énfasis de este proyecto sea el adecuado, estos son los siguientes:

- Recopilación de información

- Determinación de perímetro, área y longitud de las cuencas tomadas
- Selección de estaciones hidrológicas
- Estimación de datos faltantes
- Planteamiento y formulación del problema en la región y cuenca
- Desarrollo de pruebas estadísticas
- Delimitación de regiones homogéneas
- Con los datos recopilados realizar un análisis estadístico por el método de índice de creciente
- Resultados y análisis de resultados • Resultados y análisis de resultados

1.7.1 Tipo de estudio

El presente trabajo corresponde a un trabajo de investigación, en el cual se busca comparar y estudiar los caudales de diferentes periodos de diversas cuencas, en una misma provincia aplicando el método de índice creciente.

1.7.2 Fuentes de información

La principal fuente de información para el desarrollo del presente trabajo de grado es el “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales” (IDEAM, 1999).

2 INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA UTILIZADA

Para determinar las curvas de regionalización se tomaron datos de diversas estaciones sobre la misma provincia y corrientes que corresponden a la misma. Se realizó la morfología para cada una de ellas y se tomaron los caudales máximos anuales promedio, estas estaciones hidrológicas fueron tomadas de la CAR (*Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2005*).

A continuación, se menciona cada una de las estaciones con sus características fisiográficas, hidrológicas y morfológicas:

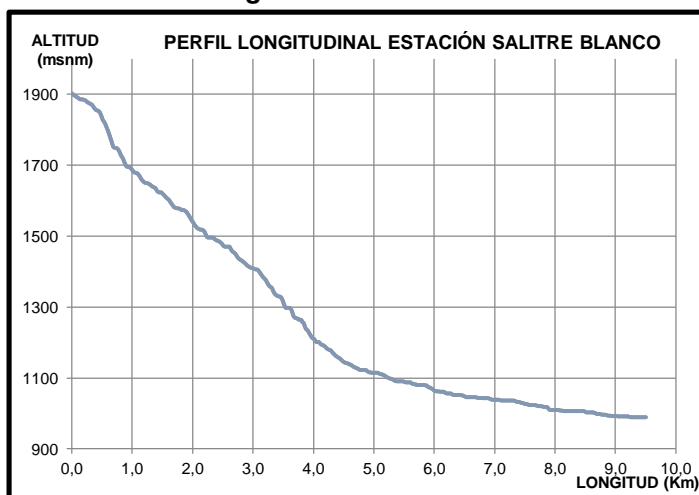
2.1 ESTACIÓN 1: 2306713 – SALITRE BLANCO

Tabla 1 Salitre blanco

Id		111
Subcuenca		Río Tobia
Cod. Estación		2306713
Estación CAR		Salitre Blanco
Área de la Subcuenca (Km²)		27,5
Perímetro de la Subcuenca (Km)		23,8
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		9506
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		9,5
Longitud total del drenaje (Km)		36,2
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		9,1
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		25,0
Densidad		1,3
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,4
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		3,0
Elongación		3,0
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,3
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	1901,7
	Cota mínima (msnm)	989,7
	Promedio de altura del cauce	1263,0
Pendiente del Cauce Principal		0,0930
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		1389,6
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		18,3
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		126,5
Nivel de disección del relieve		333,1

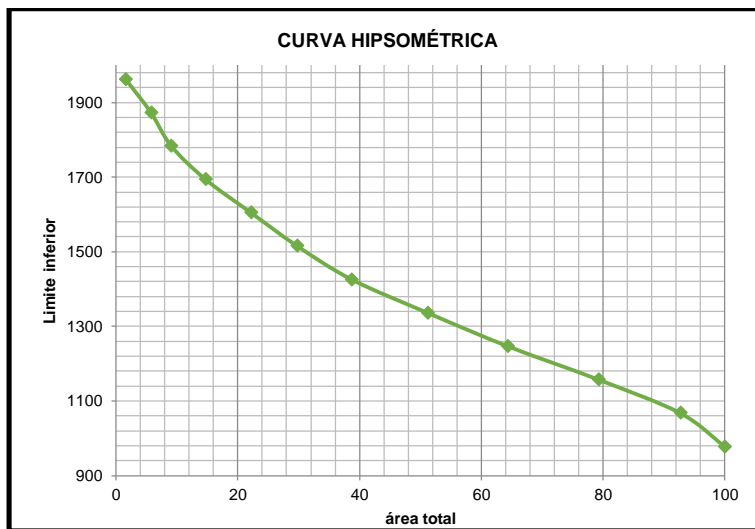
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 1 Perfil longitudinal



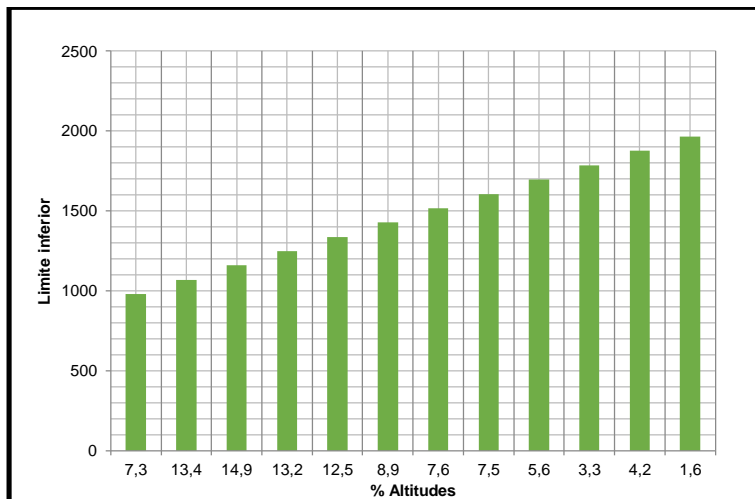
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 2 Curva hipsométrica



Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 3 Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 2 Localización salitre blanco



Fuente de Elaboración: Propia

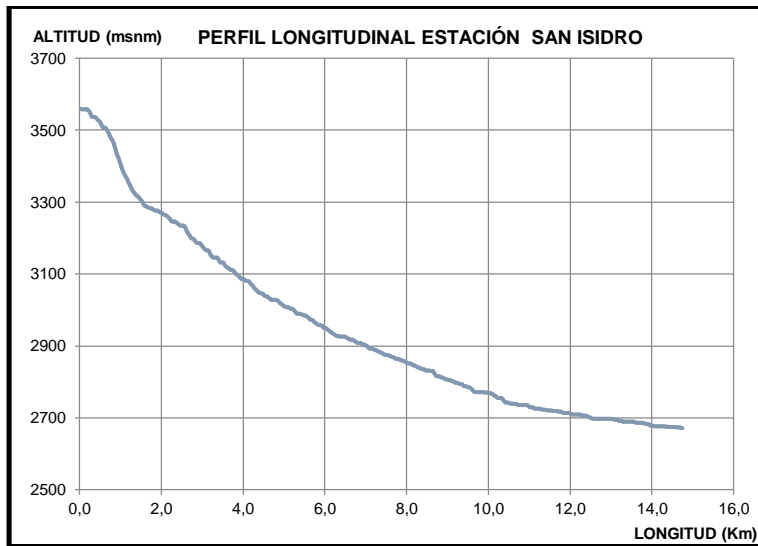
2.2 ESTACIÓN 2: 2120798- SAN ISIDRO

Tabla 2 Estación San Isidro

Id	45	
Subcuenca	Embalse Tominé	
Cod. Estación	2120798	
Estación CAR	San Isidro	
Área de la Subcuenca (Km²)	61,3	
Perímetro de la Subcuenca (Km)	40,6	
Longitud del Cauce Principal Lt (m)	14748	
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)	14,7	
Longitud total del drenaje (Km)	111,2	
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)	14,2	
Coefficiente de Sinuosidad (Ks)	1,0	
# de Corrientes	58,0	
Densidad	1,8	
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)	0,3	
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)	4,3	
Elongación	3,3	
Coefficiente de Compacidad (Kc)	1,5	
Perfil Longitudinal	Ver gráfica	
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	3559,0
	Cota mínima (msnm)	2671,0
	Promedio de altura del cauce	2945,6
Pendiente del Cauce Principal	0,0592	
Curva Hipsométrica	Ver gráfica	
Altura de la cuenca (msnm)	3178,7	
Pendiente de la cuenca (H cuenca)	12,3	
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)	233,1	
Nivel de disección del relieve	845,9	

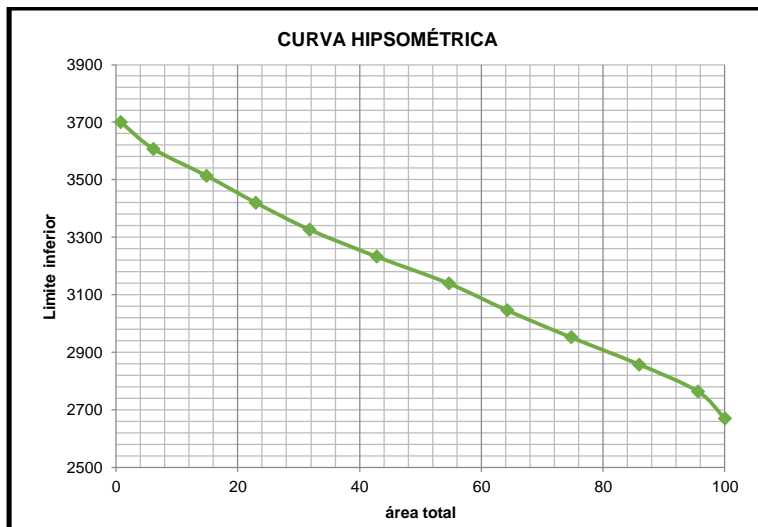
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 4 Perfil longitudinal San Isidro



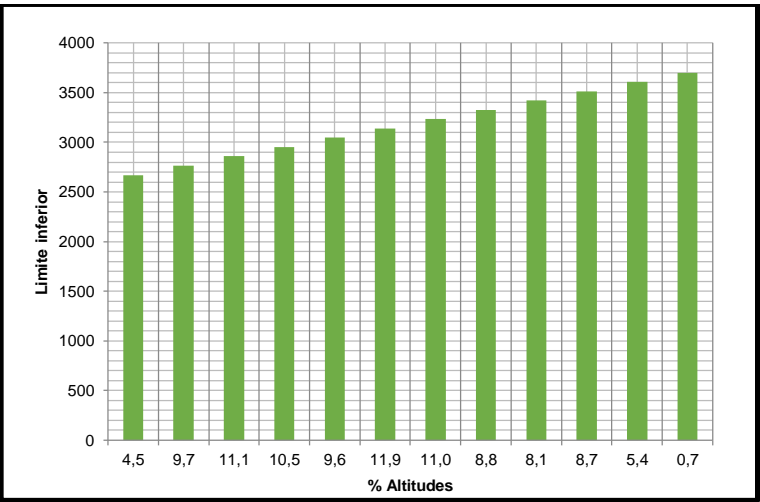
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 5 Curva hipsométrica



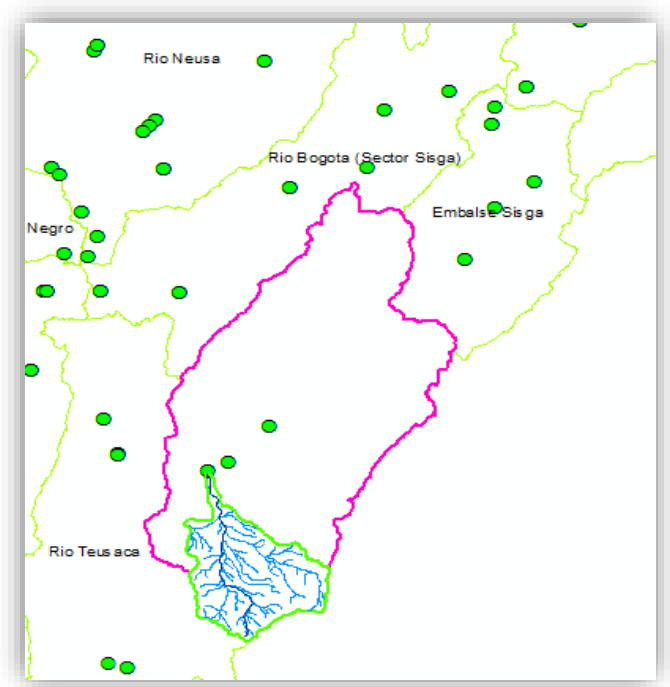
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 6 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 3 localización estación San Isidro



Fuente de Elaboración: Propia

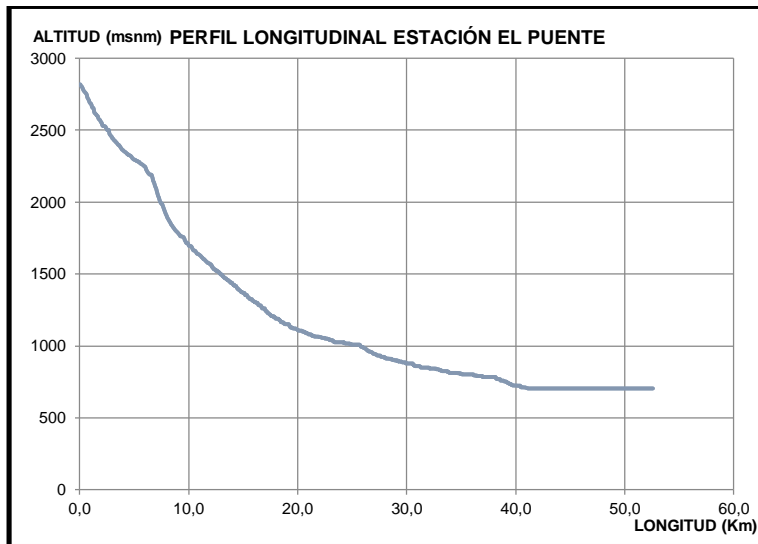
2.3 ESTACIÓN 3: 2306734- EL PUENTE

Tabla 3 Estación el puente

Id		119
Subcuenca		Río Tobia
Cod. Estación		2306734
Estación CAR		El Puente
Área de la Subcuenca (Km²)		544,8
Perímetro de la Subcuenca (Km)		145,3
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		52581
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		52,6
Longitud total del drenaje (Km)		640,6
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		49,5
Coefficiente de Sinuosidad (Ks)		1,1
# de Corrientes		341,0
Densidad		1,2
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,4
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		11,0
Elongación		4,5
Coefficiente de Compacidad (Kc)		1,7
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	2818,0
	Cota mínima (msnm)	703,0
	Promedio de altura del cauce	1066,5
Pendiente del Cauce Principal		0,0312
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		1691,0
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		21,3
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		624,5
Nivel de disección del relieve		1468,5

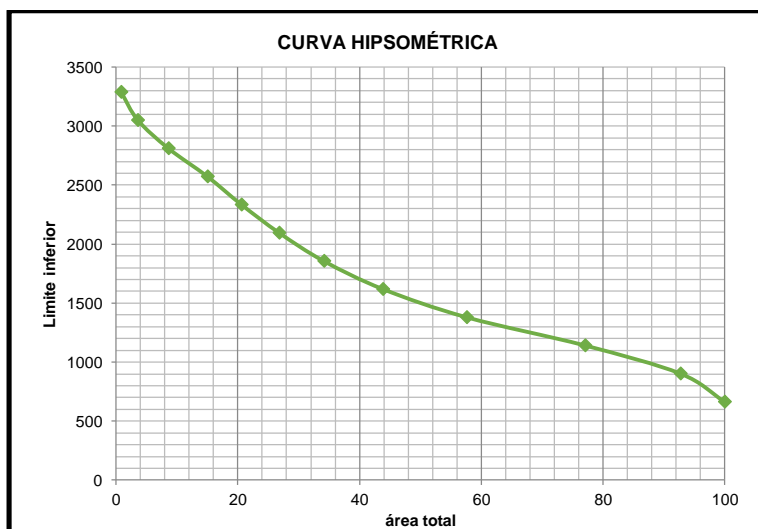
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 7 Perfil longitudinal estación Los Tanques



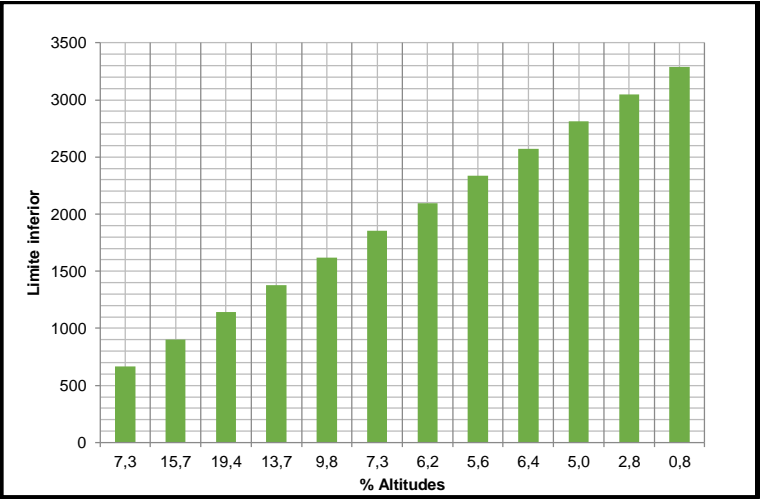
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 8 Curva hipsométrica



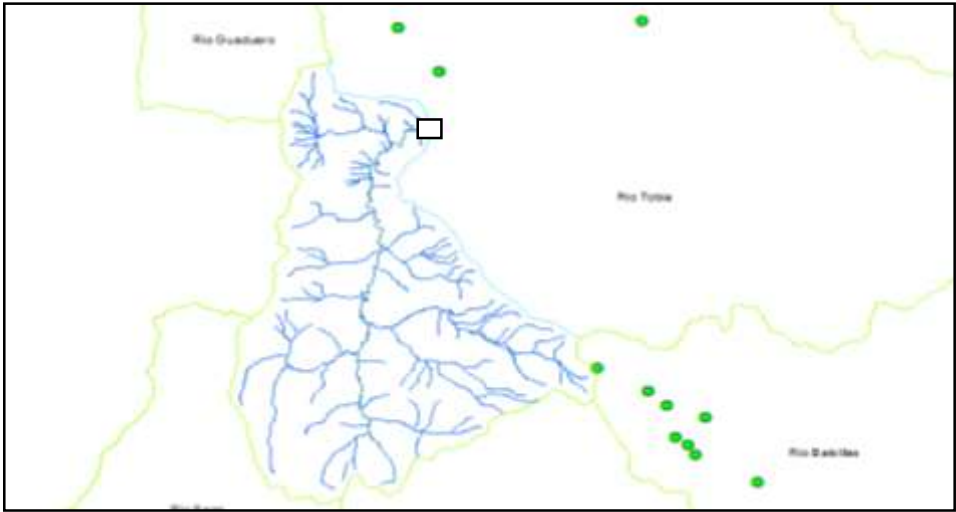
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 9 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 4 Localización estación El Puente



Fuente de Elaboración: Propia

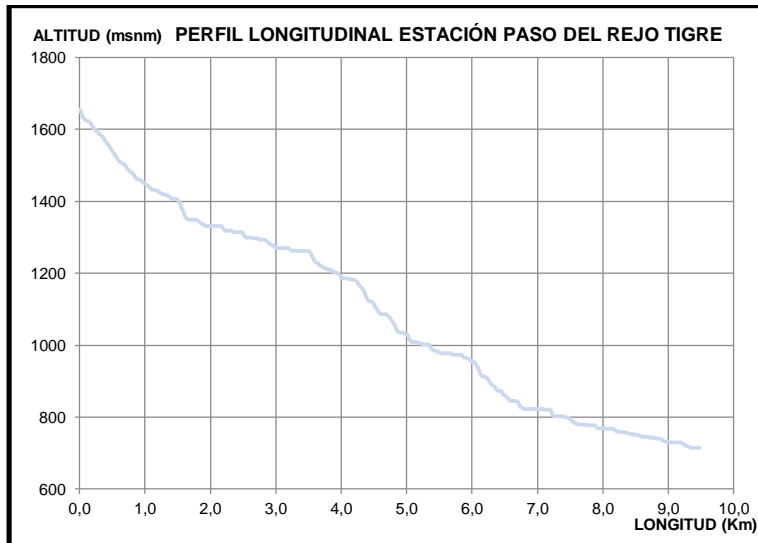
2.4 ESTACIÓN 4: 2306732 PASO DEL REJO TIGRE

Tabla 4 Estación paso del rejo tigre

Id		118
Subcuenca		Río Medio Negro Dos
Cod. Estación		2306732
Estación CAR		Paso del Rejo Tigre
Área de la Subcuenca (Km²)		25,6
Perímetro de la Subcuenca (Km)		24,3
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		9477
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		9,5
Longitud total del drenaje (Km)		29,1
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		9,1
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		16,0
Densidad		1,1
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,4
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		2,8
Elongación		3,3
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,3
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	1656,1
	Cota mínima (msnm)	282,0
	Promedio de altura del cauce	464,9
Pendiente del Cauce Principal		0,0205
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		1273,8
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		20,3
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		808,9
Nivel de disección del relieve		1835,6

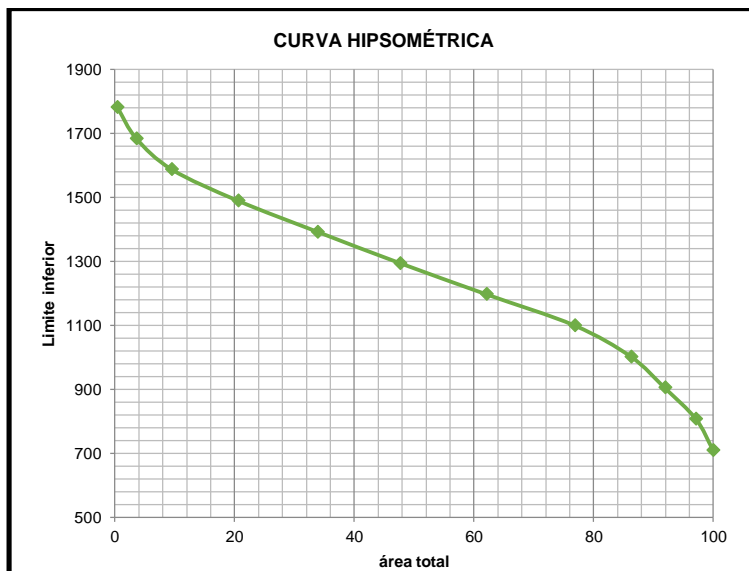
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 10 Perfil longitudinal – Paso del rejo tigre



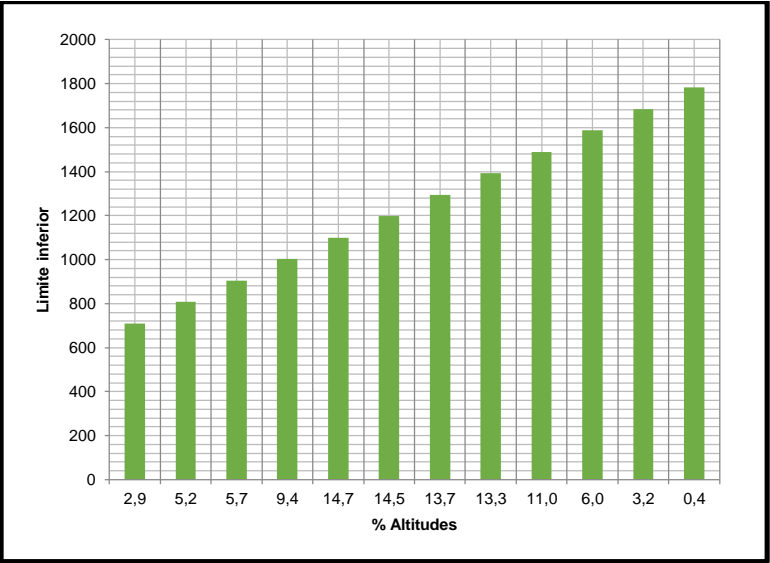
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 11 curva hipsométrica



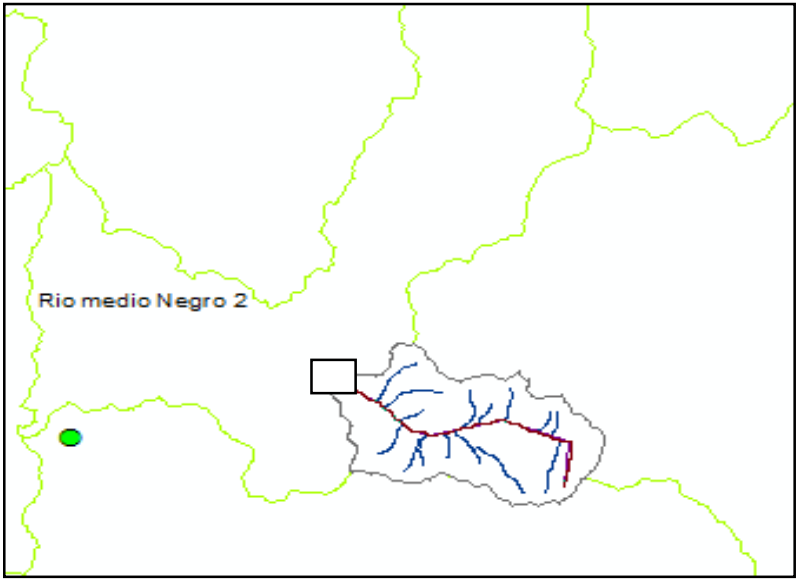
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 12 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 5 Localización estación Paso del rejo tigre



Fuente de Elaboración: Propia

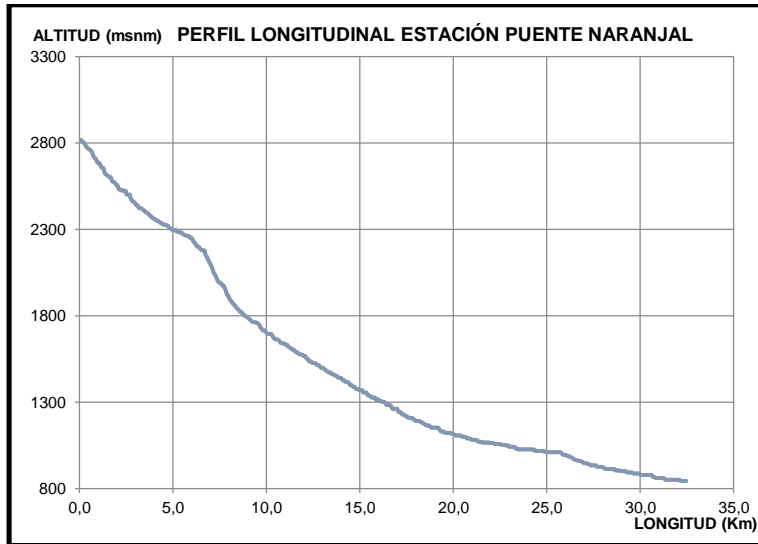
2.5 ESTACIÓN 5: 2306711- PUENTE NARANJAL

Tabla 5 Estación Puente Naranjal

Id		110
Subcuenca		Río Tobia
Cod. Estación		2306711
Estación CAR		Puente Naranjal
Área de la Subcuenca (Km²)		385,3
Perímetro de la Subcuenca (Km)		104,1
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		32453
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		32,5
Longitud total del drenaje (Km)		440,3
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		30,3
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,1
# de Corrientes		214,0
Densidad		1,1
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,4
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		12,7
Elongación		2,4
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,5
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	2818,0
	Cota mínima (msnm)	841,6
	Promedio de altura del cauce	1385,0
Pendiente del Cauce Principal		0,0536
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		1931,1
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		19,0
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		546,1
Nivel de disección del relieve		1247,9

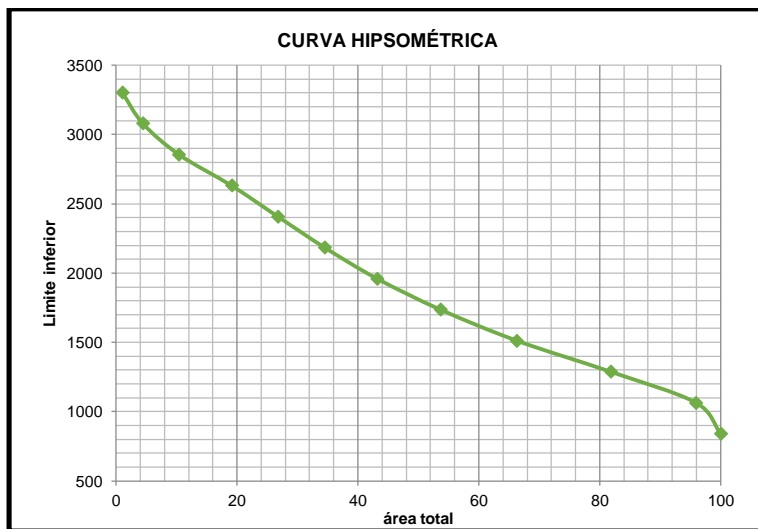
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 13 Perfil longitudinal estación Puente Naranjal



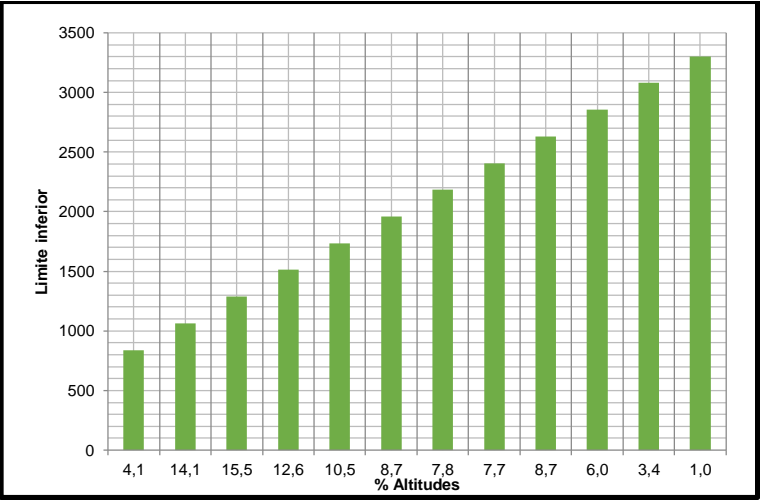
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 14 Curva hipsométrica estación Puente Naranjal



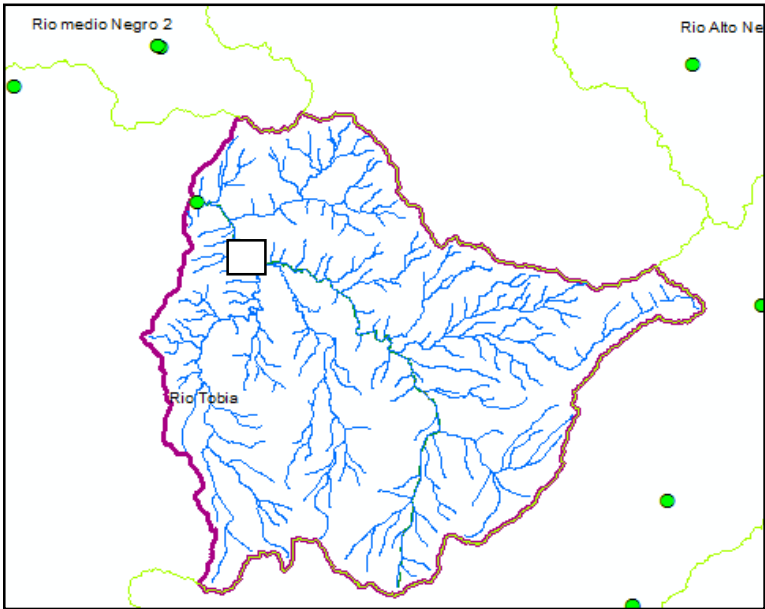
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 15 Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 16 Localización estación Puente Naranjal



Fuente de Elaboración: Propia

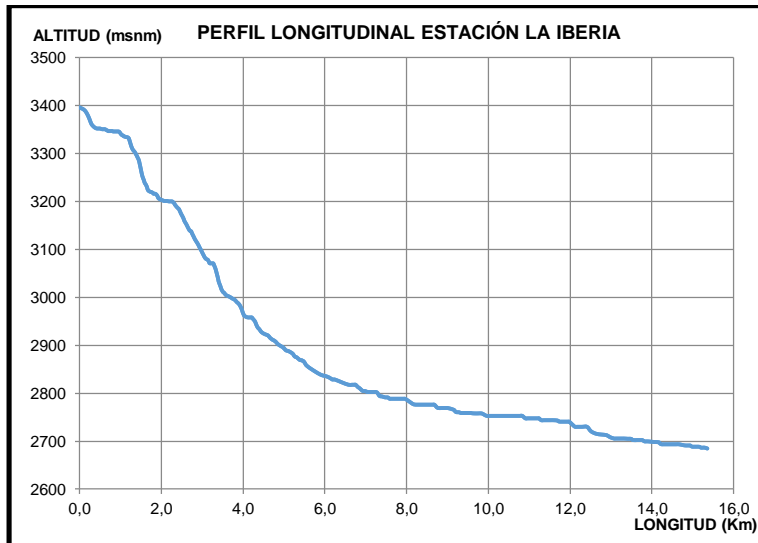
2.6 ESTACIÓN 6: 2120870- LA IBERIA

Tabla 6 Estación La Iberia

Id		56
Subcuenca		Embalse Sisga
Cod. Estación		2120870
Estación CAR		La Iberia
Área de la Subcuenca (Km²)		92,3
Perímetro de la Subcuenca (Km)		44,3
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		15361
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		15,4
Longitud total del drenaje (Km)		87,0
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		14,9
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		36,0
Densidad		0,9
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,5
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		6,2
Elongación		2,4
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,3
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	3396,5
	Cota mínima (msnm)	2685,2
	Promedio de altura del cauce	2942,7
Pendiente del Cauce Principal		0,0564
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		3029,2
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		12,7
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		86,6
Nivel de disección del relieve		163,2

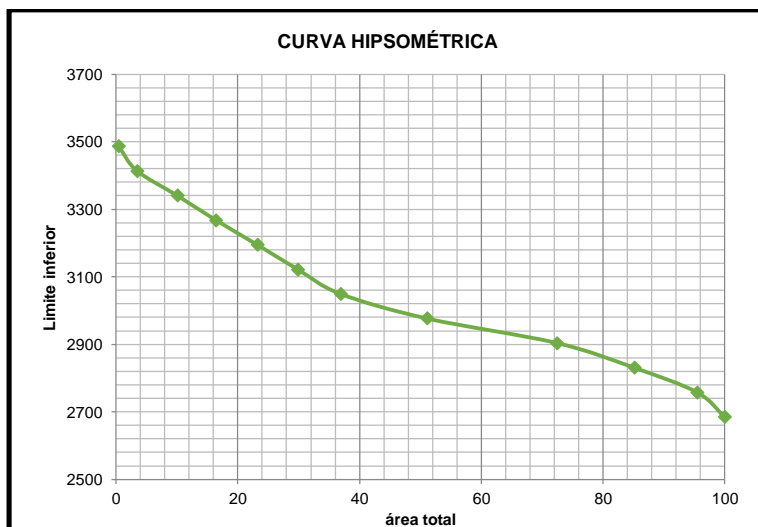
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 17 Perfil longitudinal La iberia



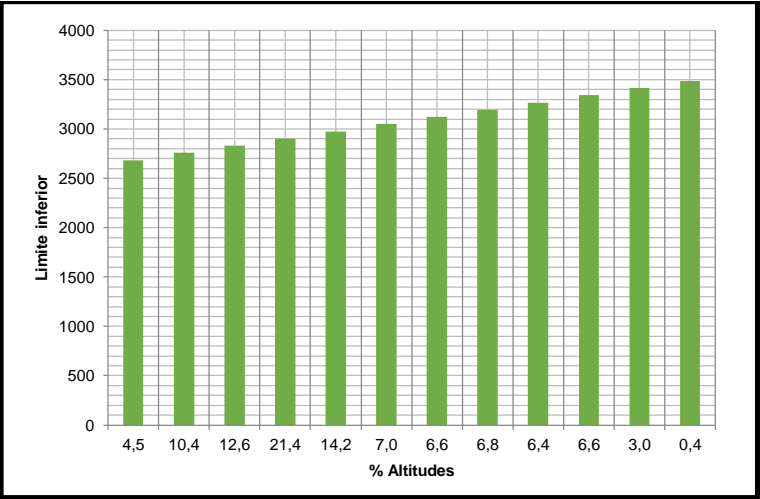
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 18 Curva hipsométrica La iberia



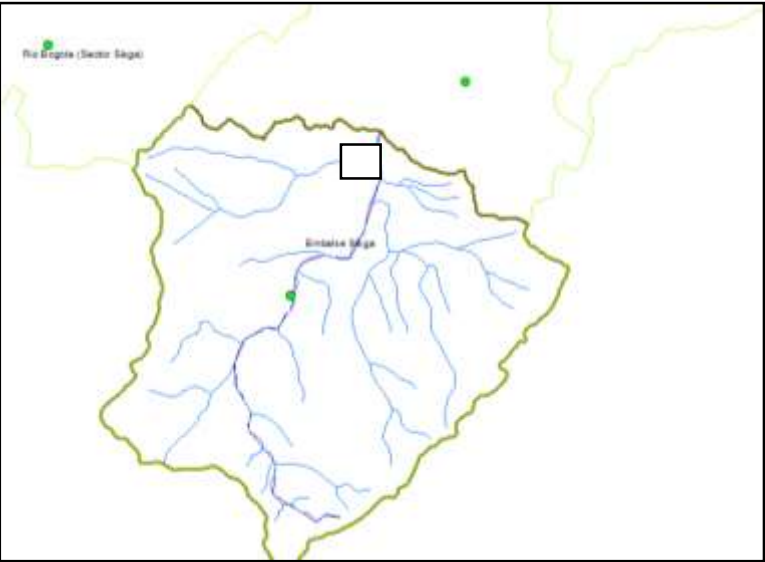
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 19 Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 6 Localización estación La iberia



Fuente de Elaboración: Propia

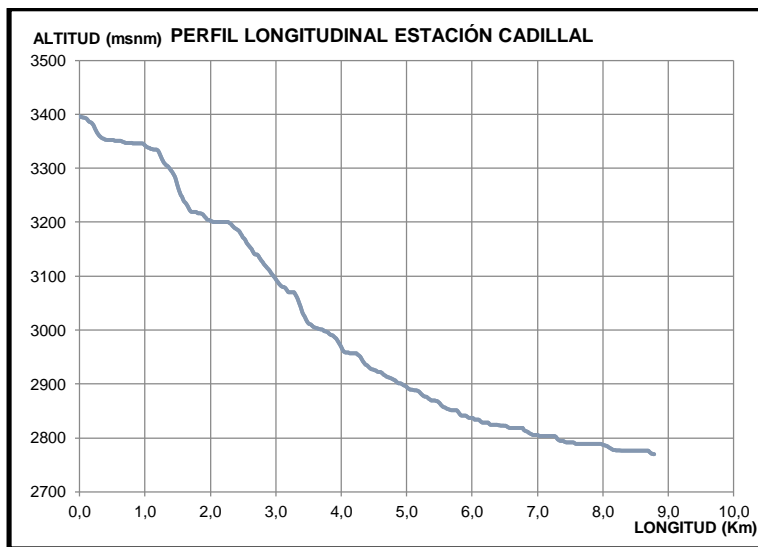
2.7 ESTACIÓN 7: 2120877- CADILLAL

Tabla 7 Estación Cadillal

Id		60
Subcuenca		Embalse Sisga
Cod. Estación		2120877
Estación CAR		Cadillal
Área de la Subcuenca (Km²)		33,9
Perímetro de la Subcuenca (Km)		26,5
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		8789
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		8,8
Longitud total del drenaje (Km)		27,6
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		8,5
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		14,0
Densidad		0,9
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,5
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		6,2
Elongación		2,4
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,3
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	3396,5
	Cota mínima (msnm)	2685,2
	Promedio de altura del cauce	2942,7
Pendiente del Cauce Principal		0,0564
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		3029,2
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		12,2
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		86,6
Nivel de disección del relieve		163,2

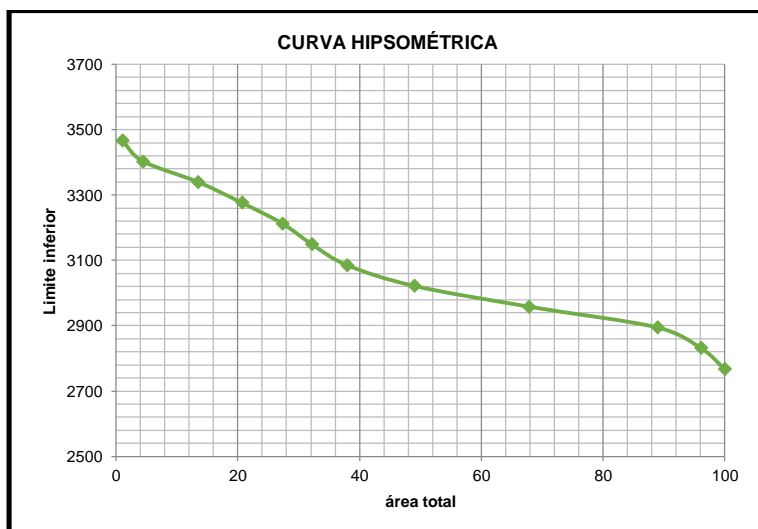
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 20 Perfil longitudinal Cadillal



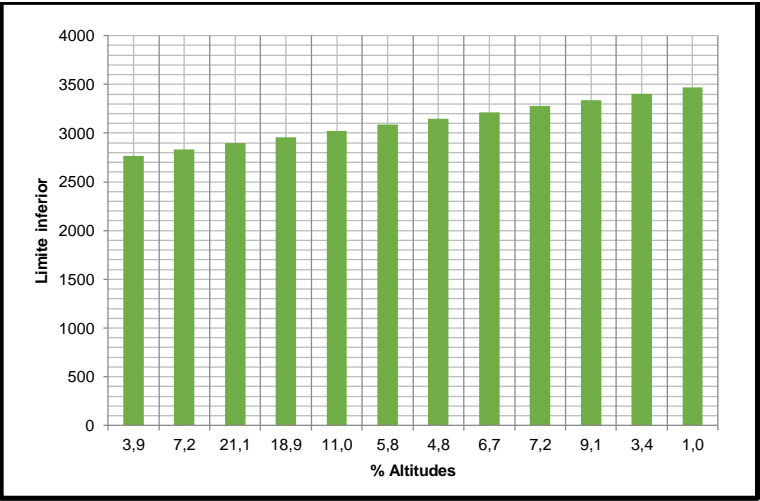
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 21 Curva hipsométrica estación Cadillal



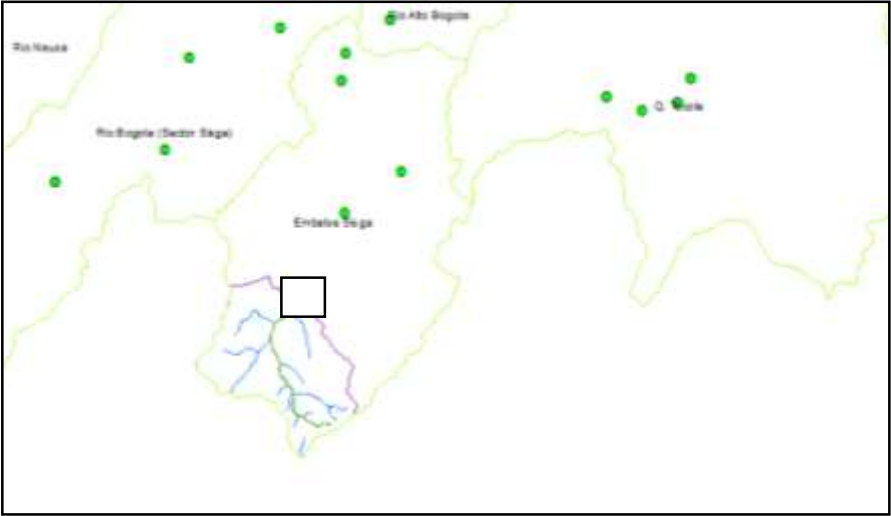
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 22 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 7 Localización estación Cadillal



Fuente de Elaboración: Propia

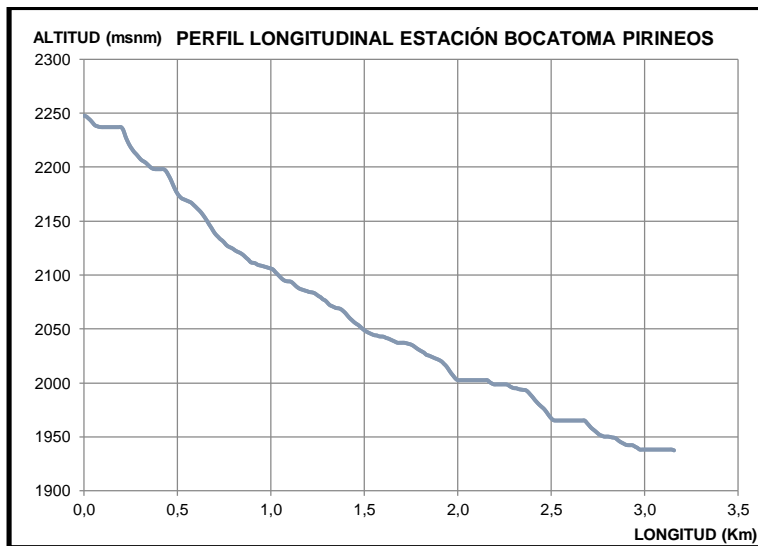
2.8 ESTACIÓN 8: BOCATOMA PIRINEOS – 2119718

Tabla 8 Estación Bocatoma Pirineos

Id		2
Subcuenca		Río Negro
Cod. Estación		2119718
Estación CAR		Bocatoma Pirineos
Área de la Subcuenca (Km²)		5,6
Perímetro de la Subcuenca (Km)		10,9
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		3159
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		3,2
Longitud total del drenaje (Km)		5,3
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		3,1
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		2,0
Densidad		1,0
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,5
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		1,8
Elongación		1,7
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,3
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	2247,7
	Cota mínima (msnm)	1937,2
	Promedio de altura del cauce	2062,7
Pendiente del Cauce Principal		0,0983
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		2146,8
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		12,7
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		84,1
Nivel de disección del relieve		160,9

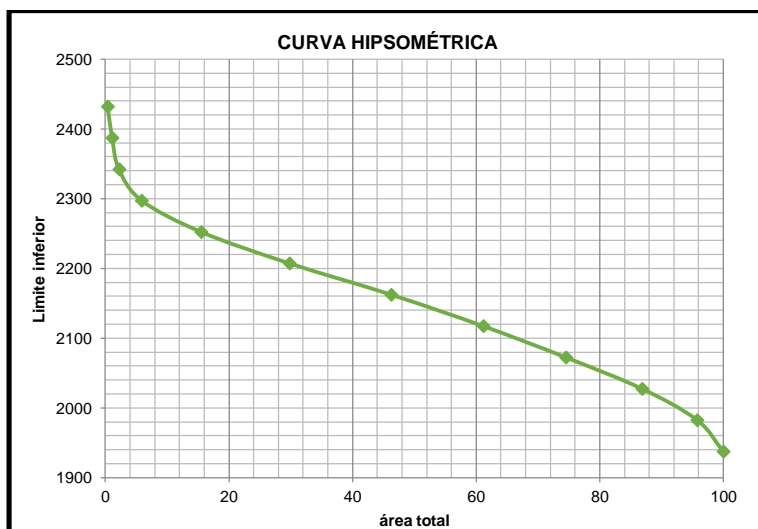
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 23 Perfil longitudinal Bocatoma Pírneos



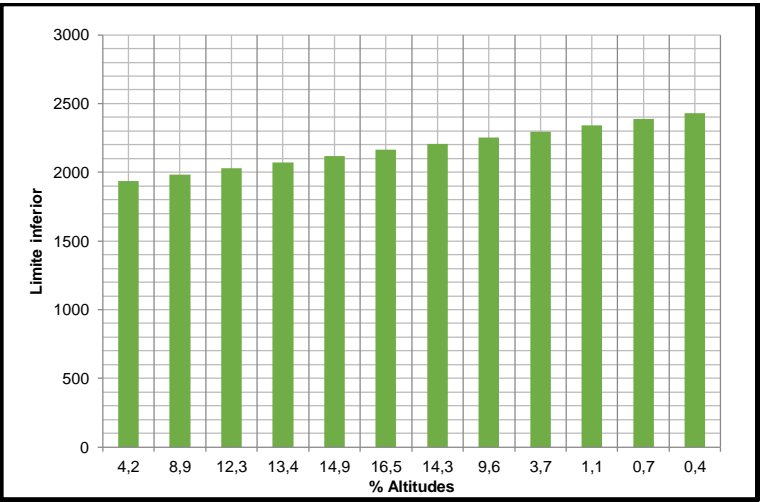
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 24 Curva hipsométrica estación Bocatoma Pírneos



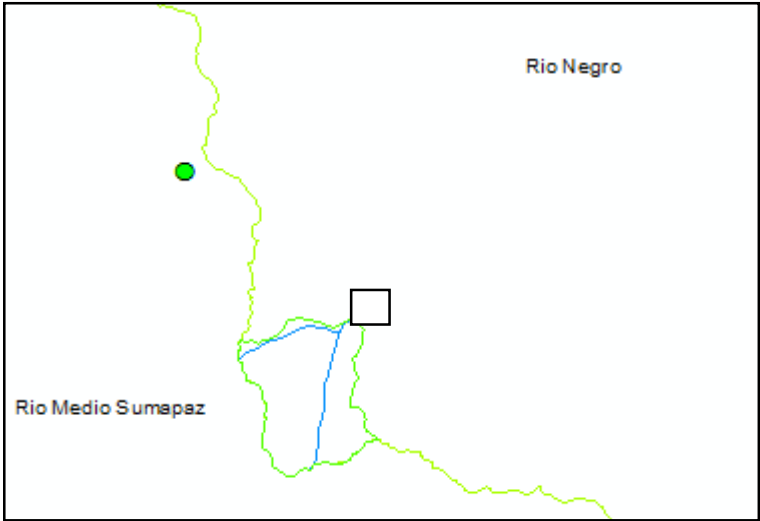
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 25 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 8 Localización estación Bocatoma Pírneos



Fuente de Elaboración: Propia

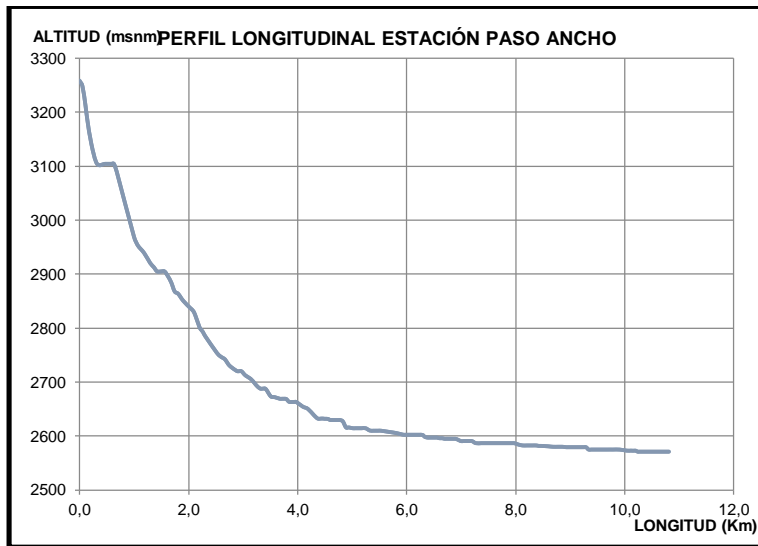
2.9 ESTACIÓN 9: - 2120967 - PASO ANCHO

Tabla 9 Estación Paso Ancho

Id		95
Subcuenca		Río Negro
Cod. Estación		2120967
Estación CAR		Paso Ancho
Área de la Subcuenca (Km²)		31,7
Perímetro de la Subcuenca (Km)		32,0
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		10806
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		10,8
Longitud total del drenaje (Km)		32,1
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		10,6
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		9,0
Densidad		1,0
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,5
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		3,0
Elongación		3,5
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,6
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	3258,1
	Cota mínima (msnm)	2571,1
	Promedio de altura del cauce	2668,0
Pendiente del Cauce Principal		0,0478
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		2782,9
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		10,9
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		114,8
Nivel de disección del relieve		232,2

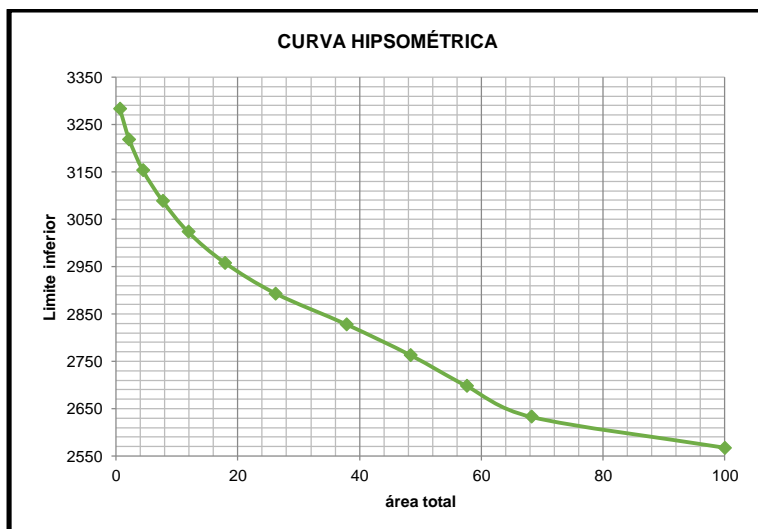
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 26 Perfil longitudinal Paso Ancho



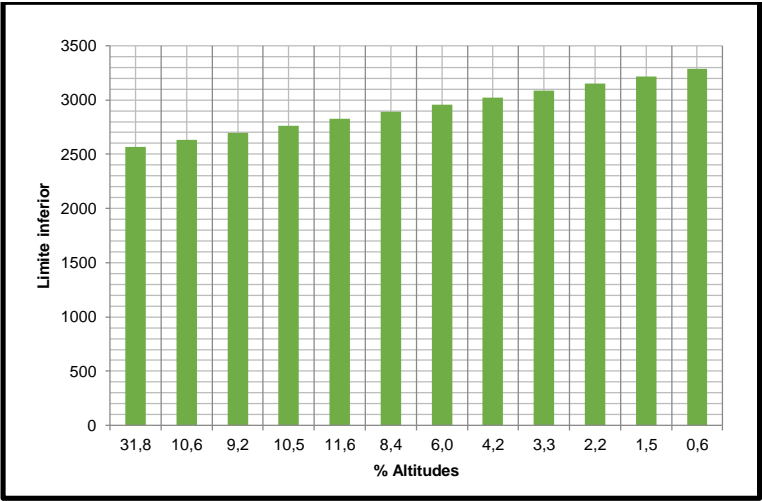
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 27 Curva hipsométrica estación Paso Ancho



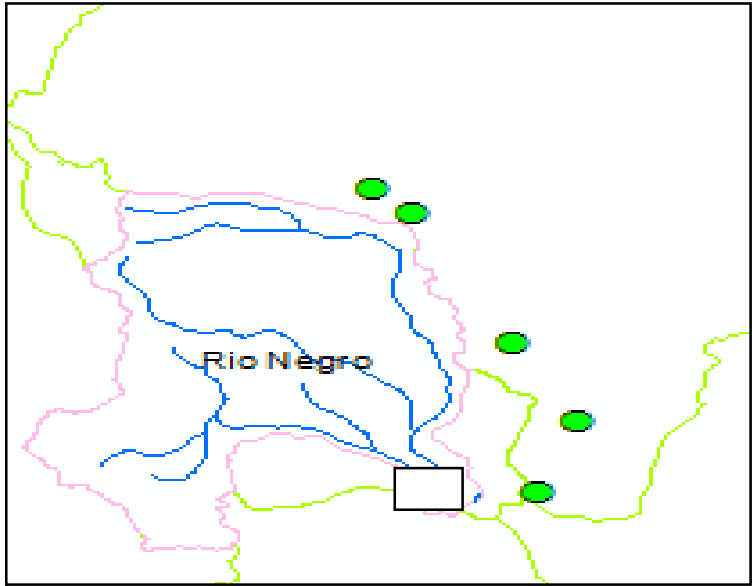
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 28 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 9 Localización estación Paso Ancho



Fuente de Elaboración: Propia

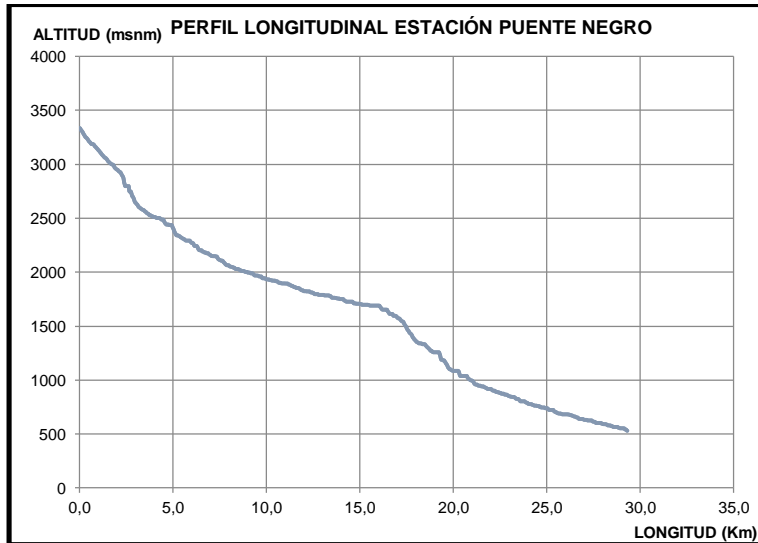
2.10 ESTACIÓN 10: - 2119733 – PUENTE NEGRO

Tabla 10 Estación Puente negro

Id		13
Subcuenca		Río Negro
Cod. Estación		2119733
Estación CAR		Puente Negro
Área de la Subcuenca (Km²)		235,9
Perímetro de la Subcuenca (Km)		74,9
Longitud del Cauce Principal Lt (m)		29300
Longitud del Cauce Principal Lt (Km)		29,3
Longitud total del drenaje (Km)		186,7
Longitud Lineal de la corriente Lineal (LI) (Km)		28,8
Coeficiente de Sinuosidad (Ks)		1,0
# de Corrientes		55,0
Densidad		0,8
Longitud media de las laderas en la cuenca (L lad)		0,6
Ancho medio de la Cuenca (B) (Km)		8,2
Elongación		3,5
Coeficiente de Compacidad (Kc)		1,4
Perfil Longitudinal		Ver gráfica
Altura del Cauce Principal (H cauce)	Cota máxima (msnm)	3333,9
	Cota mínima (msnm)	531,5
	Promedio de altura del cauce	1620,9
Pendiente del Cauce Principal		0,0941
Curva Hipsométrica		Ver gráfica
Altura de la cuenca (msnm)		2068,3
Pendiente de la cuenca (H cuenca)		15,6
Profundidad de disección de la cuenca (H dis)		447,4
Nivel de disección del relieve		708,4

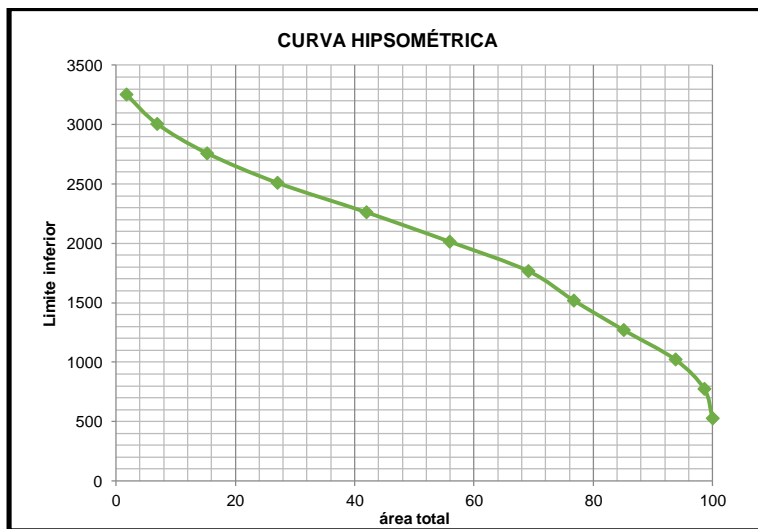
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 29 Perfil longitudinal Puente Negro



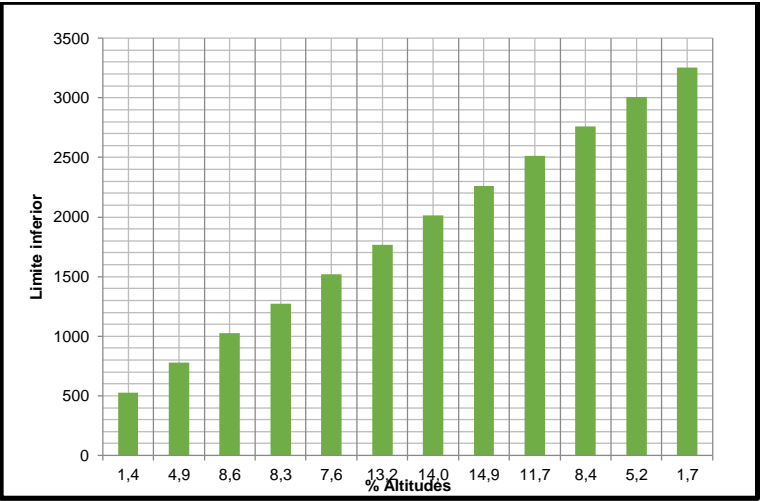
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 30 Curva hipsométrica estación Puente Negro



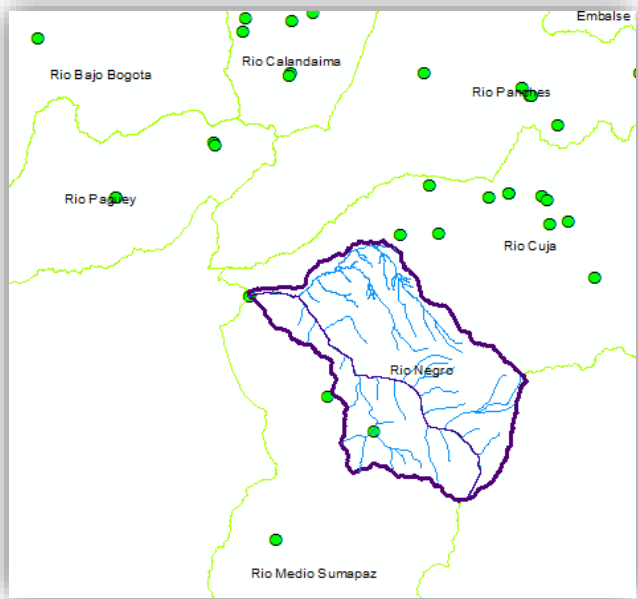
Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 31 % Altitudes vs límite inferior



Fuente de Elaboración: Propia

Ilustración 10 Localización estación Puente Negro



Fuente de Elaboración: Propia

3 ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN EN PROGRAMA SMADA TENIENDO EN CUENTA LOS CAUDALES MÁXIMOS DE LAS ESTACIONES ESTIPULADAS COMO REFERENCIA DE LA PROVINCIA DE GUALIVÁ CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.

Para el cálculo de los caudales máximos en diversos periodos de retorno se acude al programa SMADA por análisis de distribución, en el cual se calculan tres métodos y lograr establecer un pronóstico del caudal en diversos años, esto con el fin de desarrollar el método estadístico de índice creciente.

3.1 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 2306713 – SALITRE BLANCO

Tabla 11 Caudales máximos estación salitre blanco

ESTACIÓN : 2306713 SALITRE BLANCO		
Departamento	CUNDINAMARCA	
Municipio	VILLETA	
Oficina Provincial	6 GUALIVÁ	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1999	0,627	0,066
2000	0,359	0,071
2001	0,071	0,075
2002	0,075	0,210
2003	0,066	0,251
2004	0,377	0,270
2005	0,270	0,359
2006	0,389	0,377
2007	0,614	0,389
2008	0,704	0,614
2009	2,594	0,627
2010	2,132	0,704
2011	1,466	0,905
2012	1,061	0,923
2013	1,579	1,061
2014	1,460	1,460
2015	0,210	1,466
2016	0,923	1,579
2017	0,251	2,132
2018	0,905	2,594

Fuente de Elaboración: Propia

3.1.1 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 12 Método GEV estación salitre blanco

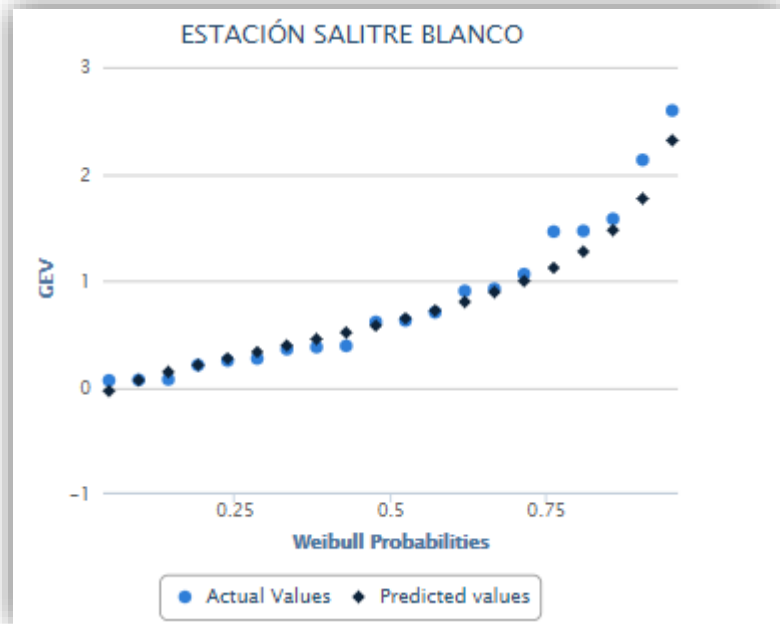
First Moment	0.807
Second Moment	0.511
Third Moment	0.355
Skew	0.9705
Distribution Method	GEV
Number of Points	20
Maximum	2.59
Minimum	0.07

	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
Values and Prediction	0.0476	0.0663	-0.0329
	0.0952	0.0708	0.0674
	0.1429	0.0753	0.144
	0.1905	0.2096	0.2108
	0.2381	0.251	0.2729
	0.2857	0.2702	0.3328
	0.3333	0.3586	0.3922
	0.381	0.3774	0.4521
	0.4286	0.3892	0.5138
	0.4762	0.6142	0.5783
	0.5238	0.6265	0.6468
	0.5714	0.7044	0.7206
	0.619	0.9045	0.8017
	0.6667	0.9227	0.8925
	0.7143	1.0611	0.9967
	0.7619	1.4596	1.1202
	0.8095	1.4658	1.2729
	0.8571	1.5789	1.474
	0.9048	2.1315	1.7691
	0.9524	2.5943	2.315

	Return Period	Probability	Prediction
Return Periods	500	0.998	5.8397
	200	0.995	4.6073
	100	0.99	3.8023
	50	0.98	3.0916
	25	0.96	2.4622
	20	0.95	2.2748
	10	0.9	1.733
	5	0.8	1.2395
	2.33	0.5708	0.7197
	2	0.5	0.612

Fuentes de Elaboración: Propia

Gráfica 32 Grafica de distribución GEV vs Weibull probabilities



Fuente de Elaboración: Propia

3.1.2 Análisis de distribución método normal

Tabla 13 método de distribución normal estación salitre blanco

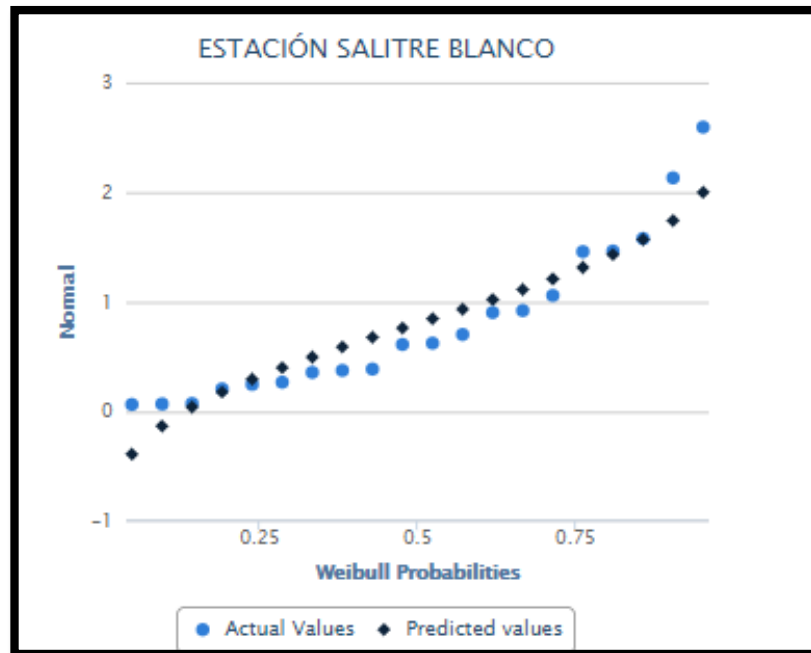
First Moment	0.807
Second Moment	0.511
Third Moment	0.355
Skew	0.9705
Distribution Method	Normal
Number of Points	20
Maximum	2.59
Minimum	0.07

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0476	0.0663	-0.3865
	0.0952	0.0708	-0.1296
	0.1429	0.0753	0.0433
	0.1905	0.2096	0.1803
	0.2381	0.251	0.2974
	0.2857	0.2702	0.4022
	0.3333	0.3586	0.4989
	0.381	0.3774	0.5903
	0.4286	0.3892	0.6781
	0.4762	0.6142	0.764
	0.5238	0.6265	0.8492
	0.5714	0.7044	0.9351
	0.619	0.9045	1.0229
	0.6667	0.9227	1.1142
	0.7143	1.0611	1.211
	0.7619	1.4596	1.3158
	0.8095	1.4658	1.4329
	0.8571	1.5789	1.5699
	0.9048	2.1315	1.7428
	0.9524	2.5943	1.9997

Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	2.8647
	200	0.995	2.6485
	100	0.99	2.4702
	50	0.98	2.2753
	25	0.96	2.0586
	10	0.9	1.723

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 33 Distribución normal vs Weibull probabilities



Fuente de elaboración: Propia

3.1.3 Análisis de distribución método Gumbel

Tabla 14 método de distribución Gumbel estación salitre blanco

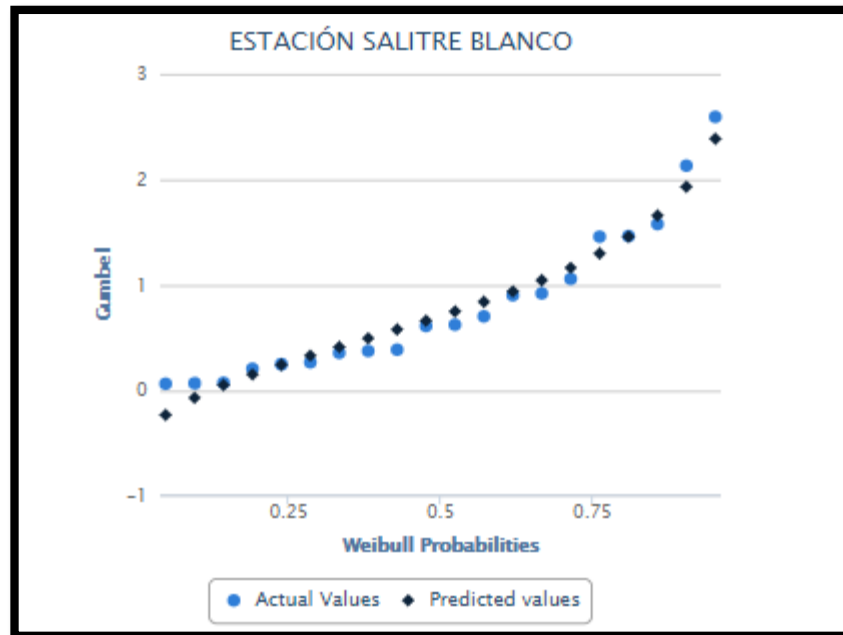
First Moment	0.807
Second Moment	0.511
Third Moment	0.355
Skew	0.9705
Distribution Method	Gumbel
Number of Points	20
Maximum	2.59
Minimum	0.07

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0476	0.0663	-0.2295
	0.0952	0.0708	-0.066
	0.1429	0.0753	0.0538
	0.1905	0.2096	0.1551
	0.2381	0.251	0.2466
	0.2857	0.2702	0.3326
	0.3333	0.3586	0.4157
	0.381	0.3774	0.4977
	0.4286	0.3892	0.5801
	0.4762	0.6142	0.6641
	0.5238	0.6265	0.7512
	0.5714	0.7044	0.8426
	0.619	0.9045	0.9403
	0.6667	0.9227	1.0466
	0.7143	1.0611	1.1646
	0.7619	1.4596	1.2994
	0.8095	1.4658	1.4591
	0.8571	1.5789	1.6587
	0.9048	2.1315	1.9321
	0.9524	2.5943	2.3869

Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	4.4081
	200	0.995	3.8272
	100	0.99	3.3869
	50	0.98	2.9449
	25	0.96	2.4997
	10	0.9	1.8996

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 34 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities – Estación salitre blanco



Fuente de elaboración: Propia

3.2 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN2: 2120798- SAN ISIDRO

Tabla 15 Caudales máximos estación san isidro

ESTACIÓN : 2120798 SAN ISIDRO		
Departamento		CUNDINAMARCA
Municipio		GUASCA
Oficina Provincial		1 BOGOTÁ - LA CALERA
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1970	7,676333	1,760917
1971	4,201417	1,930167
1972	4,940000	1,968727
1973	3,559917	2,193583
1974	3,763333	2,230833
1975	2,829833	2,748750
1976	4,953333	2,825000
1977	2,825000	2,829833
1978	3,911500	3,110000
1979	3,669167	3,153167
1991	3,153167	3,312083
1992	3,312083	3,315333
1993	3,935000	3,349917
1994	3,110000	3,559917
1995	2,230833	3,669167
1996	3,728333	3,728333
1997	3,938833	3,763333
1998	2,748750	3,911500
1999	6,950083	3,935000
2000	8,500917	3,938833
2001	3,349917	4,201417
2002	2,193583	4,940000
2003	8,702333	4,953333
2004	13,593083	5,159000
2005	11,378917	5,370083
2006	9,251167	5,832583
2007	5,159000	6,626000
2008	10,504833	6,950083
2009	6,626000	7,676333
2010	5,370083	8,500917
2011	22,167167	8,702333
2012	24,607750	9,251167
2013	5,832583	9,977917
2014	9,977917	10,504833
2015	1,968727	11,378917
2016	1,760917	13,593083
2017	3,315333	22,167167
2018	1,930167	24,607750

Fuente de elaboración: Propia

3.2.1 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 16 Método de distribución GEV estación San Isidro

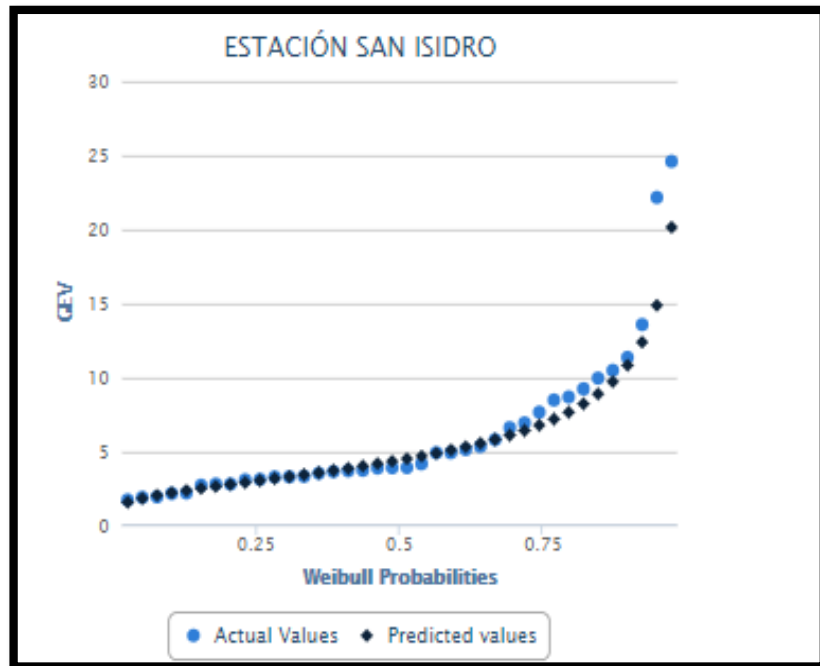
First Moment	6.095	
Second Moment	25.603	
Third Moment	279.322	
Skew	2.1561	
Distribution Method	GEV	
Number of Points	38	
Maximum	24.61	
Minimum	1.76	

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0256	1.7609	1.603
	0.0513	1.9302	1.8673
	0.0769	1.9687	2.0637
	0.1026	2.1936	2.2351
	0.1282	2.2308	2.3886
	0.1538	2.7488	2.5325
	0.1795	2.825	2.6702
	0.2051	2.8298	2.8043
	0.2308	3.11	2.9363
	0.2564	3.1532	3.0676
	0.2821	3.3121	3.1993
	0.3077	3.3153	3.3321
	0.3333	3.3499	3.467
	0.359	3.5599	3.6048
	0.3846	3.6692	3.7461
	0.4103	3.7283	3.8918
	0.4359	3.7633	4.0428
	0.4615	3.9115	4.1999
	0.4872	3.935	4.3643
	0.5128	3.9388	4.5369
	0.5385	4.2014	4.7193
	0.5641	4.94	4.9128
	0.5897	4.9533	5.1195
	0.6154	5.159	5.3414
	0.641	5.3701	5.5814
	0.6667	5.8326	5.8428
	0.6923	6.626	6.1301
	0.7179	6.9501	6.4487
	0.7436	7.6763	6.8061
	0.7692	8.5009	7.2124
	0.7949	8.7023	7.6819
	0.8205	9.2512	8.2333
	0.8462	9.9779	8.9047
	0.8718	10.5048	9.7427
	0.8974	11.3789	10.8435
	0.9231	13.5931	12.3995
	0.9487	22.1672	14.8937
	0.9744	24.6078	20.1564

Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	58.0308
	200	0.995	39.9403
	100	0.99	29.9933
	50	0.98	22.4124
	25	0.96	16.6218
	10	0.9	10.974

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 35 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities San Isidro



Fuente de elaboración: Propia

3.2.2. Análisis de distribución método normal

Tabla 17 método de distribución normal estación San Isidro

First Moment 6.095
Second Moment 25.603
Third Moment 279.322
Skew 2.1561
Distribution Method Normal
Number of Points 38
Maximum 24.61
Minimum 1.76

Plot Position	Actual Data	Predicted Data
0.0256	1.7609	-3.7692
0.0513	1.9302	-2.167
0.0769	1.9687	-1.1218
0.1026	2.1936	-0.3168
0.1282	2.2308	0.3524
0.1538	2.7488	0.9339
0.1795	2.825	1.4543
0.2051	2.8298	1.9297
0.2308	3.11	2.371
0.2564	3.1532	2.7855
0.2821	3.3121	3.1789
0.3077	3.3153	3.5554
0.3333	3.3499	3.9182
0.359	3.5599	4.27
0.3846	3.6692	4.6131
0.4103	3.7283	4.9494
0.4359	3.7633	5.2805
0.4615	3.9115	5.608
0.4872	3.935	5.9332
0.5128	3.9388	6.2577
0.5385	4.2014	6.5829
0.5641	4.94	6.9104
0.5897	4.9533	7.2415
0.6154	5.159	7.5778
0.641	5.3701	7.9209
0.6667	5.8326	8.2728
0.6923	6.626	8.6356
0.7179	6.9501	9.012
0.7436	7.6763	9.4054
0.7692	8.5009	9.82
0.7949	8.7023	10.2612
0.8205	9.2512	10.7366
0.8462	9.9779	11.257
0.8718	10.5048	11.8385
0.8974	11.3789	12.5077
0.9231	13.5931	13.3127
0.9487	22.1672	14.3579
0.9744	24.6078	15.9601

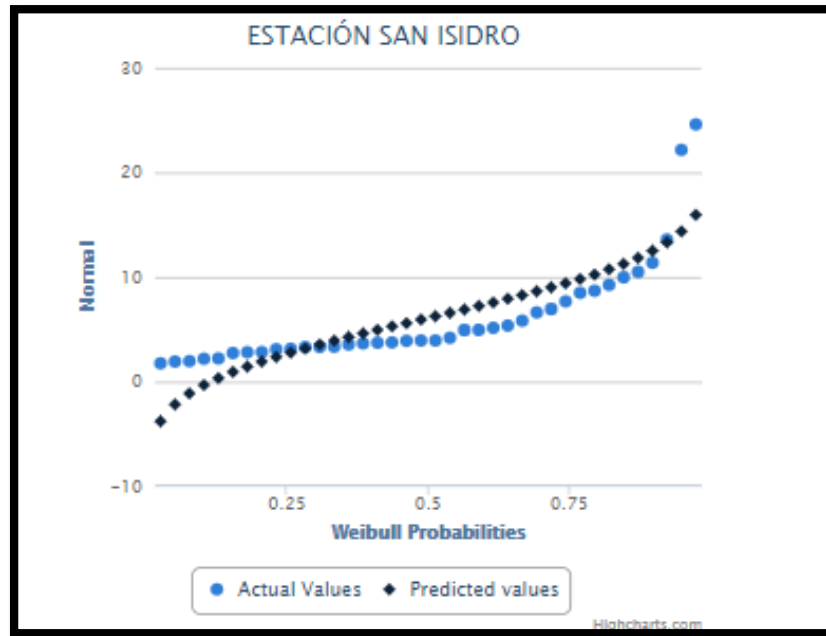
Values and Prediction

Return Periods

Return Period	Probability	Prediction
500	0.998	20.6606
200	0.995	19.1312
100	0.99	17.8689
50	0.98	16.4896
25	0.96	14.9559
10	0.9	12.581

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 36 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities San Isidro



Fuente de elaboración: Propia

3.2.2. Análisis de distribución método Gumbel

Tabla 18 método de distribución Gumbel estación san isidro

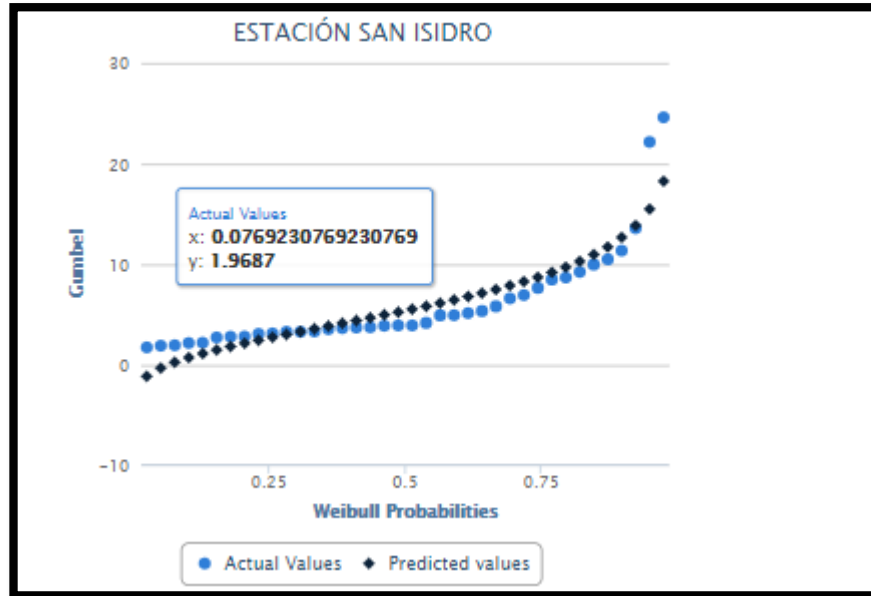
First Moment	6.095	
Second Moment	25.603	
Third Moment	279.322	
Skew	2.1561	
Distribution Method	Gumbel	
Number of Points	38	
Maximum	24.61	
Minimum	1.76	

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0256	1.7609	-1.116
	0.0513	1.9302	-0.2944
	0.0769	1.9687	0.2806
	0.1026	2.1936	0.7466
	0.1282	2.2308	1.1506
	0.1538	2.7488	1.5147
	0.1795	2.825	1.8514
	0.2051	2.8298	2.1685
	0.2308	3.11	2.4711
	0.2564	3.1532	2.7633
	0.2821	3.3121	3.0477
	0.3077	3.3153	3.3267
	0.3333	3.3499	3.6022
	0.359	3.5599	3.8758
	0.3846	3.6692	4.1489
	0.4103	3.7283	4.4229
	0.4359	3.7633	4.6989
	0.4615	3.9115	4.9783
	0.4872	3.935	5.2623
	0.5128	3.9388	5.5522
	0.5385	4.2014	5.8494
	0.5641	4.94	6.1355
	0.5897	4.9533	6.4721
	0.6154	5.159	6.8013
	0.641	5.3701	7.1453
	0.6667	5.8326	7.5071
	0.6923	6.626	7.8898
	0.7179	6.9501	8.2978
	0.7436	7.6763	8.7363
	0.7692	8.5009	9.2123
	0.7949	8.7023	9.7354
	0.8205	9.2512	10.3184
	0.8462	9.9779	10.9808
	0.8718	10.5048	11.752
	0.8974	11.3789	12.6818
	0.9231	13.5931	13.8631
	0.9487	22.1672	15.5046
	0.9744	24.6078	18.2719

Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	28.3125
	200	0.995	24.717
	100	0.99	21.9918
	50	0.98	19.2565
	25	0.96	16.5009
	10	0.9	12.7865

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 37 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities



Fuente de elaboración: Propia

3.3 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 3: 2306734-EL PUENTE

Tabla 19 Caudales máximos estación San isidro

ESTACIÓN : 2306734 EL PUENTE		
Departamento	CUNDINAMARCA	
Municipio	VILLETA	
Oficina Provincial	6 GUALIVÁ	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
2015	3,12608	3,12608
2016	3,54317	3,37240
2017	9,77225	3,54317
2018	3,37240	9,77225

Fuente de elaboración: Propia

3.3.1 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 20 método de distribución Gumbel estación el Puente

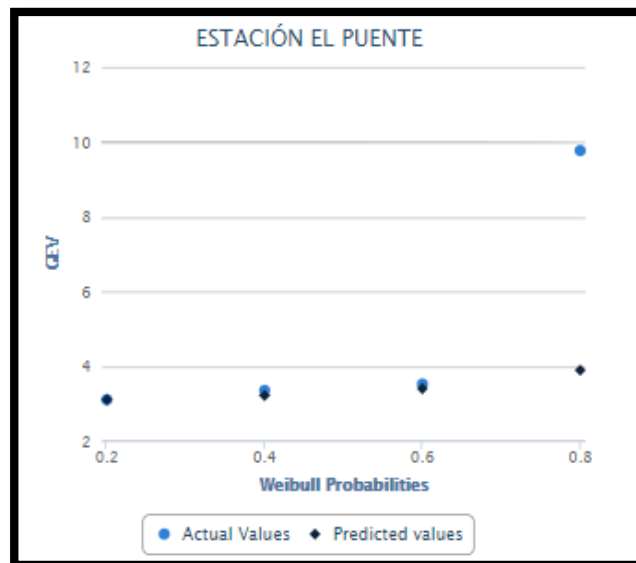
First Moment	4.953
Second Moment	10.350
Third Moment	24.759
Skew	0.7436
Distribution Method	GEV
Number of Points	4
Maximum	9.77
Minimum	3.13

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.2	3.1261	3.1262
	0.4	3.3724	3.2333
	0.6	3.5432	3.4175
	0.8	9.7723	3.9089

Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	63.0681
	200	0.995	29.763
	100	0.99	17.4919
	50	0.98	10.821
	25	0.96	7.1928
	10	0.9	4.7973

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 38 Distribución GEV vs Weibull probabilities



Fuente de elaboración: Propia

3.3.2 Análisis de distribución método normal – Estación el Puente

Tabla 21 Método de distribución normal estación el Puente

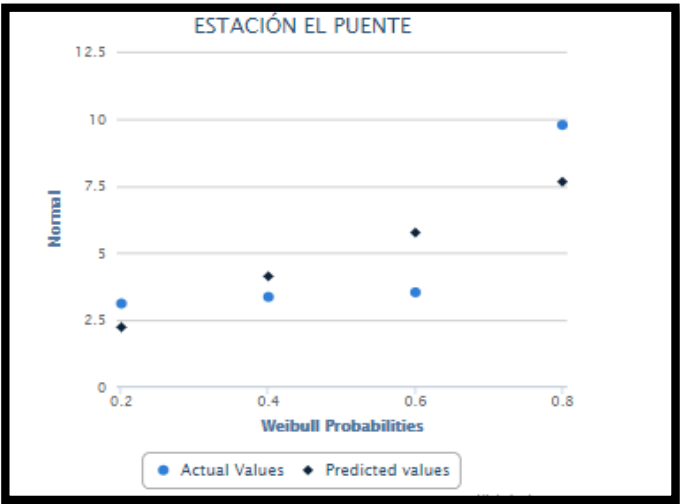
First Moment	4.953
Second Moment	10.350
Third Moment	24.759
Skew	0.7436
Distribution Method	Normal
Number of Points	4
Maximum	9.77
Minimum	3.13

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.2	3.1261	2.2464
	0.4	3.3724	4.1397
	0.6	3.5432	5.7672
	0.8	9.7723	7.6605

Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	14.2139
	200	0.995	13.2414
	100	0.99	12.4389
	50	0.98	11.562
	25	0.96	10.5868
	10	0.9	9.0769

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 39 Distribución Normal vs Weibull probabilities El Puente



Fuente de elaboración: Propia

3.3.3 Análisis de distribución método gumbel – Estación el Puente

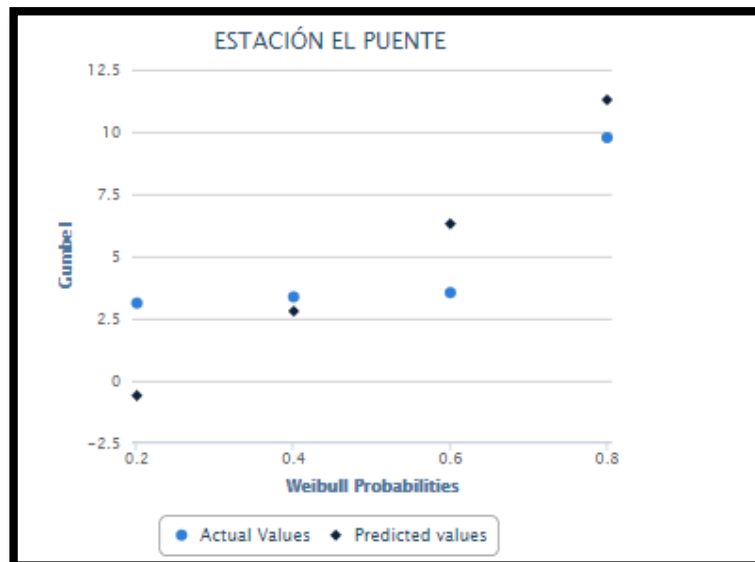
Tabla 22 Método de distribución Gumbel estación el Puente

First Moment	4.953
Second Moment	10.350
Third Moment	24.759
Skew	0.7436
Distribution Method	Gumbel
Number of Points	4
Maximum	9.77
Minimum	3.13

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.2	3.1261	-0.5883
	0.4	3.3724	2.7987
	0.6	3.5432	6.3119
Return Periods	0.8	9.7723	11.2917
	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	39.6335
	200	0.995	34.1151
Return Periods	100	0.99	29.9323
	50	0.98	25.7341
	25	0.96	21.5048
	10	0.9	15.8038

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 40 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities El Puente



Fuente de elaboración: Propia

3.4 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 4: 2306732 PASO DEL REJO TIGRE

Tabla 23 Caudales máximos estación el Paso del Rejo

ESTACIÓN : 2306732 PASO DEL REJO		
Departamento	CUNDINAMARCA	
Municipio	NIMAIMA	
Oficina Provincial	6 GUALIVÁ	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
2007	0,788	0,788
2008	1,102	1,019
2009	3,936	1,048
2010	7,567	1,102
2011	11,468	1,486
2012	5,773	2,007
2013	7,631	3,936
2014	7,984	5,773
2015	1,019	7,567
2016	1,486	7,631
2017	2,007	7,984
2018	1,048	11,468

Fuente de elaboración: Propia

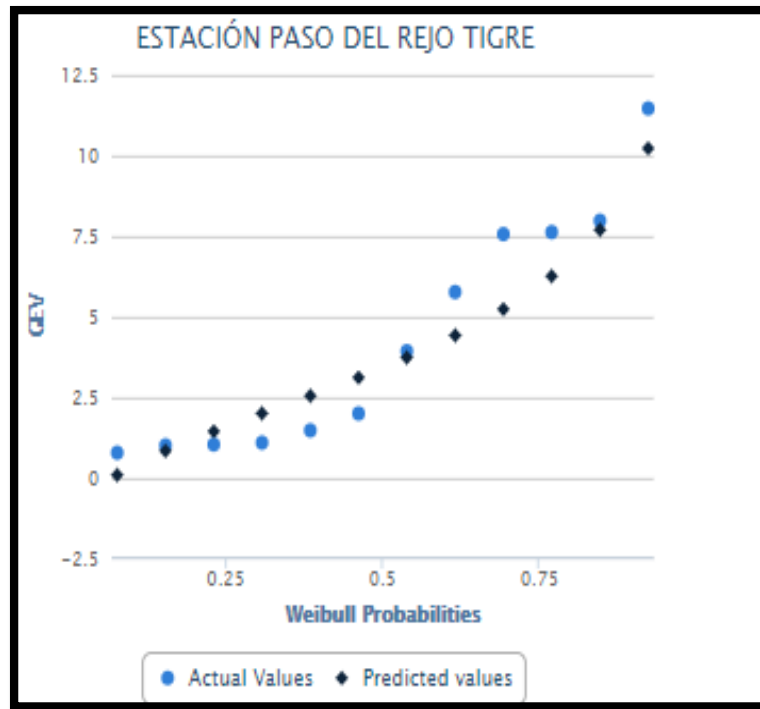
3.4.1 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 24 Método de distribución GEV estación paso del rejo

First Moment	4.317		
Second Moment	13.282		
Third Moment	25.465		
Skew	0.5261		
Distribution Method	GEV		
Number of Points	12		
Maximum	11.47		
Minimum	0.79		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0769	0.7883	0.094
	0.1538	1.0193	0.8484
	0.2308	1.0475	1.4533
	0.3077	1.1018	2.0099
	0.3846	1.4857	2.5589
	0.4615	2.007	3.1271
	0.5385	3.936	3.7398
	0.6154	5.7733	4.4286
	0.6923	7.5673	5.2416
	0.7692	7.6306	6.2673
	0.8462	7.9839	7.7062
	0.9231	11.4682	10.2278
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	26.9095
	200	0.995	22.0344
	100	0.99	18.6857
	50	0.98	15.5981
	25	0.96	12.742
	10	0.9	9.2594

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 41 distribución GEV vs Weibull probabilities Paso del rejo tigre



Fuente de elaboración: Propia

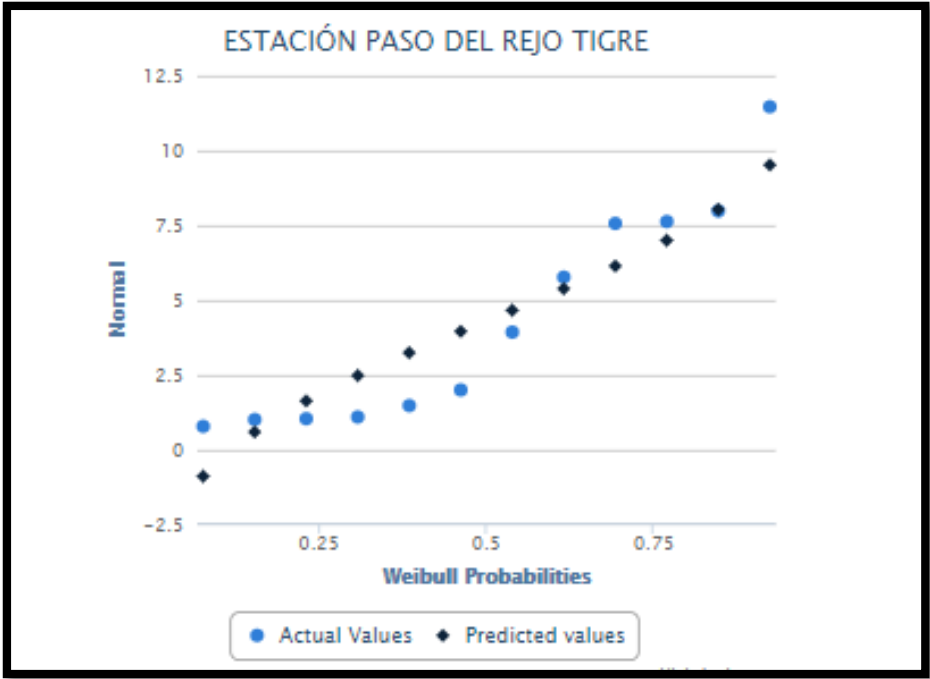
3.4.2 Análisis de distribución método normal

Tabla 25 método de distribución normal estación Paso del rejo

First Moment	4.317		
Second Moment	13.282		
Third Moment	25.465		
Skew	0.5261		
Distribution Method	Normal		
Number of Points	12		
Maximum	11.47		
Minimum	0.79		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0769	0.7883	-0.8808
	0.1538	1.0193	0.5998
	0.2308	1.0475	1.6348
	0.3077	1.1018	2.4879
	0.3846	1.4857	3.2498
	0.4615	2.007	3.9663
	0.5385	3.936	4.6685
	0.6154	5.7733	5.3851
	0.6923	7.5673	6.1469
	0.7692	7.6306	7
	0.8462	7.9839	8.035
	0.9231	11.4682	9.5157
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	14.808
	200	0.995	13.7064
	100	0.99	12.7973
	50	0.98	11.8038
	25	0.96	10.6991
	10	0.9	8.9886

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 42 Distribución Normal vs Weibull probabilities Paso del rejo tigre



Fuente de elaboración: Propia

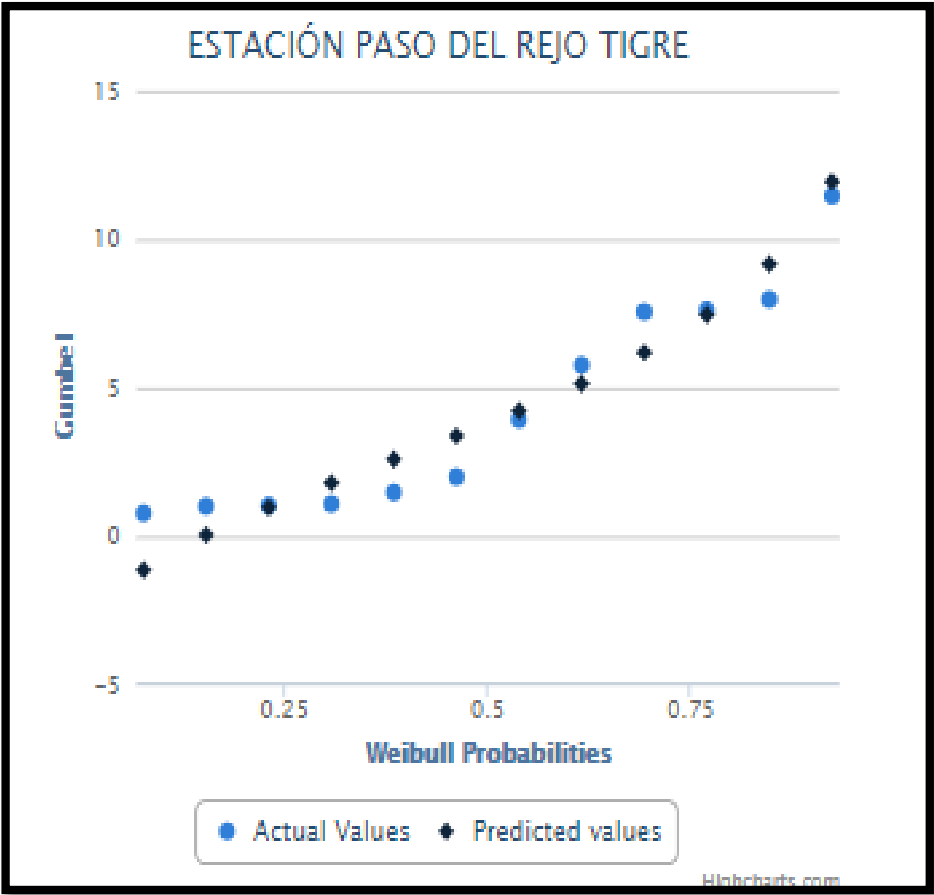
3.4.3 Análisis de distribución método Gumbel – Estación el Paso del Rejo

Tabla 26 Método de distribución Gumbel estación paso del rejo

First Moment	4.317		
Second Moment	13.282		
Third Moment	25.465		
Skew	0.5261		
Distribution Method	Gumbel		
Number of Points	12		
Maximum	11.47		
Minimum	0.79		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0769	0.7883	-1.1312
	0.1538	1.0193	0.0564
	0.2308	1.0475	0.9766
	0.3077	1.1018	1.7999
	0.3846	1.4857	2.591
	0.4615	2.007	3.3891
	0.5385	3.936	4.2273
	0.6154	5.7733	5.1432
	0.6923	7.5673	6.1906
	0.7692	7.6306	7.4632
	0.8462	7.9839	9.1648
	0.9231	11.4682	11.9382
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	25.8418
	200	0.995	22.3821
	100	0.99	19.7598
	50	0.98	17.1279
	25	0.96	14.4764
	10	0.9	10.9023

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 43 distribución Gumbel vs Weibull probabilities



Fuente de elaboración: Propia

3.5 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 5: 2306711-PUENTE NARANJAL

Tabla 27 Caudales máximos estación Pte. Naranjal

ESTACIÓN : 2306711 PTE NARANJAL		
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	
MUNICIPIO	VILLETÁ	
OFICINA PROVINCIAL	6 GUALIVÁ	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1998	19,081	4,491
1999	19,121	5,642
2000	25,283	8,759
2001	27,180	18,079
2002	30,154	18,409
2003	9,600	18,747
2004	6,119	22,402
2005	15,714	22,496
2006	43,504	26,196
2007	27,805	29,845
2008	53,733	30,226
2009	50,528	30,970
2010	33,204	32,664
2011	115,279	37,880
2012	34,522	40,618
2013	38,985	43,331
2014	43,089	46,686
2015	10,380	50,560
2016	21,415	54,022
2017	17,923	81,261
2018	86,8598333	114,8590833

Fuente de elaboración: Propia

3.5.2 Análisis de distribución método (GEV)

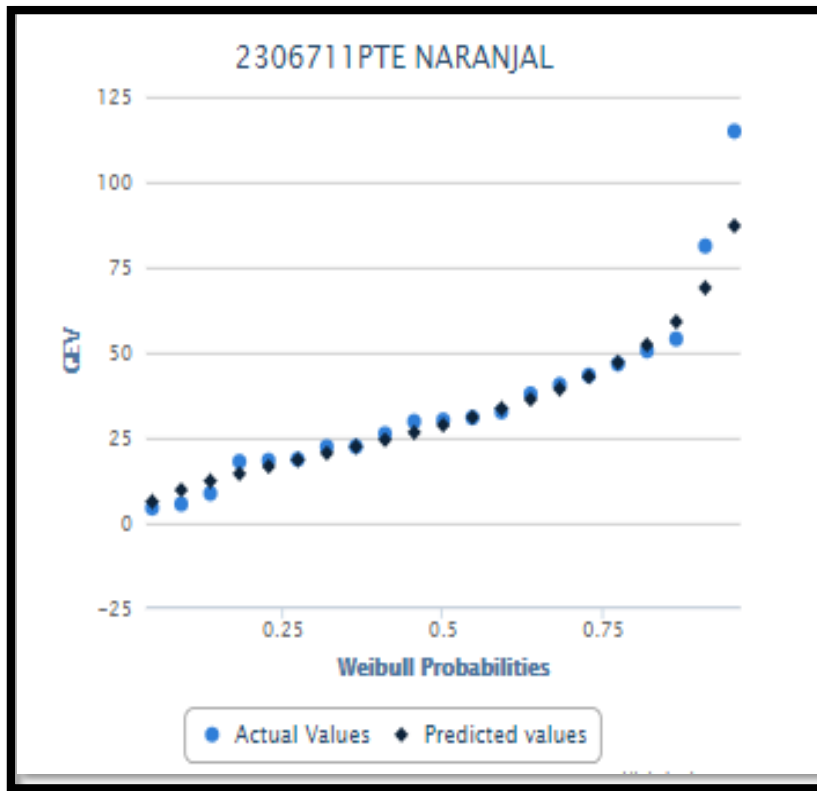
Tabla 28 Método de distribución GEV estación Pte. Naranjal

First Moment	35.150
Second Moment	656.879
Third Moment	24,999.556
Skew	1.4849
Distribution Method	GEV
Number of Points	21
Maximum	114.86
Minimum	4.49

Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0455	4.4907	6.2869
	0.0909	5.6418	9.7097
	0.1364	8.7588	12.302
	0.1818	18.0793	14.5486
	0.2273	18.4092	16.6216
	0.2727	18.7466	18.6075
	0.3182	22.402	20.5598
	0.3636	22.4956	22.5179
	0.4091	26.1963	24.5146
	0.4545	29.8449	26.5812
	0.5	30.2263	28.7506
	0.5455	30.9697	31.0606
	0.5909	32.6639	33.5575
	0.6364	37.8799	36.3023
	0.6818	40.6184	39.3789
	0.7273	43.3308	42.9106
	0.7727	46.6857	47.0911
	0.8182	50.5601	52.2521
	0.8636	54.0224	59.0361
	0.9091	81.2612	68.9525
	0.9545	114.859	87.1779

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 44 Distribución GEV vs Weibull probabilities Pte Naranjal



Fuente de elaboración: Propia

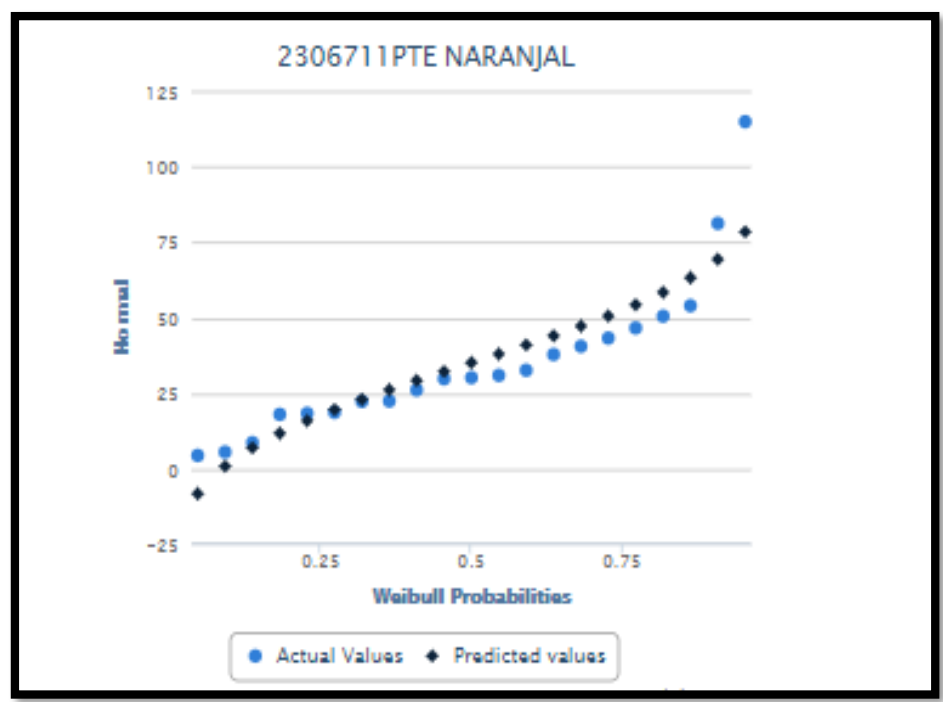
3.5.3 Análisis de distribución método normal

Tabla 29 método de distribución normal estación Pte. Naranjal

First Moment	35.150	
Second Moment	656.879	
Third Moment	24,999.556	
Skew	1.4849	
Distribution Method	Normal	
Number of Points	21	
Maximum	114.86	
Minimum	4.49	
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data
	0.0455	4.4907
	0.0909	5.6418
	0.1364	8.7588
	0.1818	18.0793
	0.2273	18.4092
	0.2727	18.7466
	0.3182	22.402
	0.3636	22.4956
	0.4091	26.1963
	0.4545	29.8449
	0.5	30.2263
	0.5455	30.9697
	0.5909	32.6639
	0.6364	37.8799
	0.6818	40.6184
	0.7273	43.3308
	0.7727	46.6857
	0.8182	50.5601
	0.8636	54.0224
	0.9091	81.2612
	0.9545	114.859
Return Periods	Return Period	Probability
	500	0.998
	200	0.995
	100	0.99
	50	0.98
	25	0.96
	10	0.9
	Prediction	
	108.9249	
	101.1779	
	94.7845	
	87.798	
	80.0293	
	68.0001	

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 45 Distribución normal vs Weibull probabilities Pte Naranjal



Fuente de elaboración: Propia

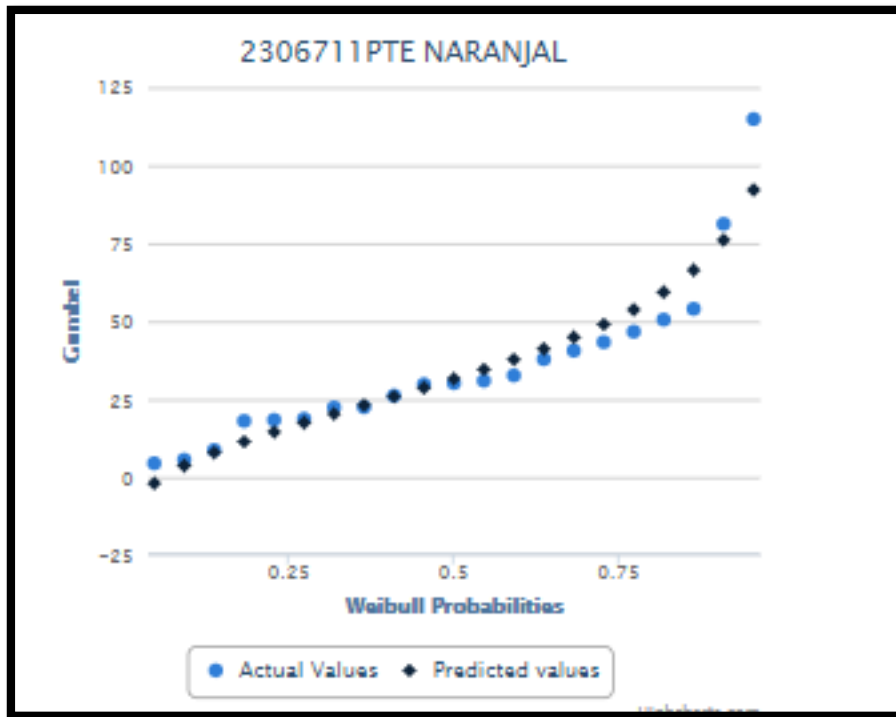
3.5.4 Análisis de distribución método Gumbel – Estación Pte Naranjal

Tabla 30 Método de distribución Gumbel estación Pte. Naranjal

First Moment	35.150		
Second Moment	656.879		
Third Moment	24,999.556		
Skew	1.4849		
Distribution Method	Gumbel		
Number of Points	21		
Maximum	114.86		
Minimum	4.49		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0455	4.4907	-1.9138
	0.0909	5.6418	3.777
	0.1364	8.7588	7.9285
	0.1818	18.0793	11.4234
	0.2273	18.4092	14.5676
	0.2727	18.7466	17.5106
	0.3182	22.402	20.3411
	0.3636	22.4956	23.1198
	0.4091	26.1963	25.8942
	0.4545	29.8449	28.7052
	0.5	30.2263	31.5926
	0.5455	30.9697	34.5989
	0.5909	32.6639	37.7731
	0.6364	37.8799	41.1758
	0.6818	40.6184	44.888
	0.7273	43.3308	49.0239
	0.7727	46.6857	53.7569
	0.8182	50.5601	59.374
	0.8636	54.0224	66.4099
	0.9091	81.2612	76.0604
	0.9545	114.859	92.1355
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	162.6377
	200	0.995	142.0681
	100	0.99	126.4769
	50	0.98	110.8286
	25	0.96	95.0639
	10	0.9	73.8136

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 46 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities Pte Naranjal



Fuente de elaboración: Propia

3.6 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 6: - 2120870-LA IBERIA

Tabla 31 Caudales máximos estación la Iberia

ESTACIÓN : 2120870 LA IBERIA		
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	
MUNICIPIO	CHOCONTA	
OFICINA PROVINCIAL	2 ALMEIDAS - GUATAVITA	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1993	4,06	3,03
1994	7,77	3,31
1995	4,45	4,06
1996	11,93	4,41
1997	7,02	4,45
1998	11,18	4,55
1999	10,29	5,39
2000	10,64	5,53
2001	8,69	5,67
2002	8,83	5,89
2003	6,46	6,24
2004	9,09	6,27
2005	5,53	6,39
2006	6,24	6,46
2007	3,31	7,02
2008	6,39	7,77
2009	5,67	7,92
2010	7,92	8,34
2011	14,28	8,69
2012	8,34	8,83
2013	5,39	9,09
2014	6,27	10,29
2015	4,41	10,64
2016	5,89	11,18
2017	4,55	11,93
2018	3,03	14,28

Fuente de elaboración: Propia

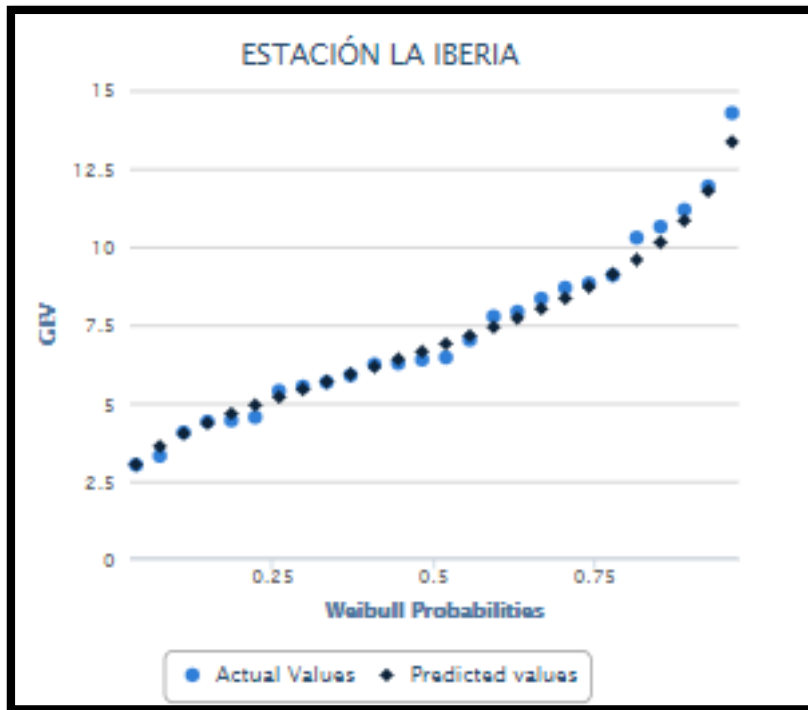
3.6.2 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 32 Método de distribución GEV Estación la Iberia

First Moment	7.217		
Second Moment	7.928		
Third Moment	13.772		
Skew	0.6169		
Distribution Method	GEV		
Number of Points	26		
Maximum	14.28		
Minimum	3.03		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.037	3.03	3.0412
	0.0741	3.31	3.6157
	0.1111	4.06	4.0257
	0.1481	4.41	4.364
	0.1852	4.45	4.6626
	0.2222	4.55	4.9368
	0.2593	5.39	5.1951
	0.2963	5.53	5.4432
	0.3333	5.67	5.6852
	0.3704	5.89	5.9242
	0.4074	6.24	6.1627
	0.4444	6.27	6.403
	0.4815	6.39	6.6474
	0.5185	6.46	6.8982
	0.5556	7.02	7.1578
	0.5926	7.77	7.4291
	0.6296	7.92	7.7154
	0.6667	8.34	8.021
	0.7037	8.69	8.3516
	0.7407	8.83	8.7146
	0.7778	9.09	9.1211
	0.8148	10.29	9.5878
	0.8519	10.64	10.1425
	0.8889	11.18	10.8368
	0.9259	11.93	11.7858
	0.963	14.28	13.3521
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	19.5154
	200	0.995	17.6383
	100	0.99	16.1861
	50	0.98	14.7025
	25	0.96	13.1809
	10	0.9	11.0864

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 47 Distribución GEV vs Weibull probabilities Estación la Iberia



Fuente de elaboración: Propia

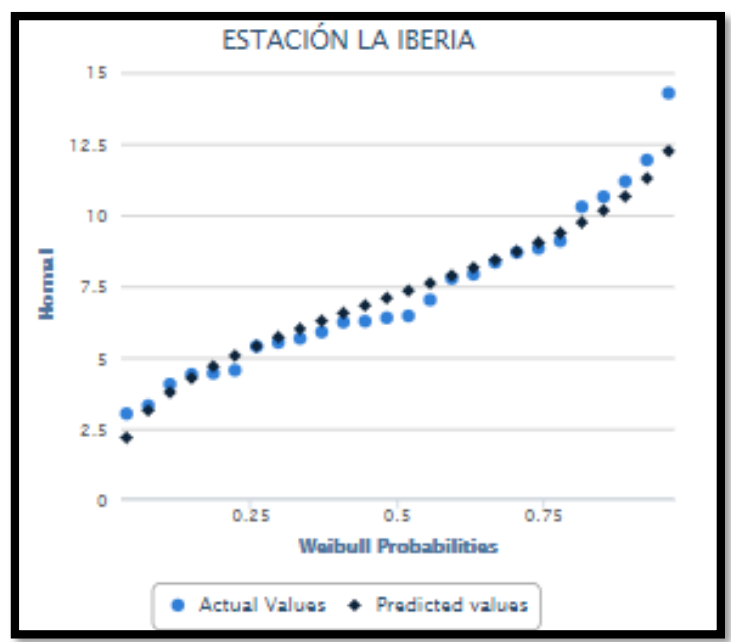
3.6.3 Análisis de distribución método normal

Tabla 33 método de distribución normal estación la iberia

First Moment	7.217	
Second Moment	7.928	
Third Moment	13.772	
Skew	0.6169	
Distribution Method	Normal	
Number of Points	26	
Maximum	14.28	
Minimum	3.03	
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data
	0.037	3.03
	0.0741	3.31
	0.1111	4.06
	0.1481	4.41
	0.1852	4.45
	0.2222	4.55
	0.2593	5.39
	0.2963	5.53
	0.3333	5.67
	0.3704	5.89
	0.4074	6.24
	0.4444	6.27
	0.4815	6.39
	0.5185	6.46
	0.5556	7.02
	0.5926	7.77
	0.6296	7.92
	0.6667	8.34
	0.7037	8.69
	0.7407	8.83
	0.7778	9.09
	0.8148	10.29
	0.8519	10.64
	0.8889	11.18
	0.9259	11.93
	0.963	14.28
Return Periods	Return Period	Probability
	500	0.998
	200	0.995
	100	0.99
	50	0.98
	25	0.96
	10	0.9

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 48 Distribución normal vs Weibull probabilities Estación la Iberia



Fuente de elaboración: Propia

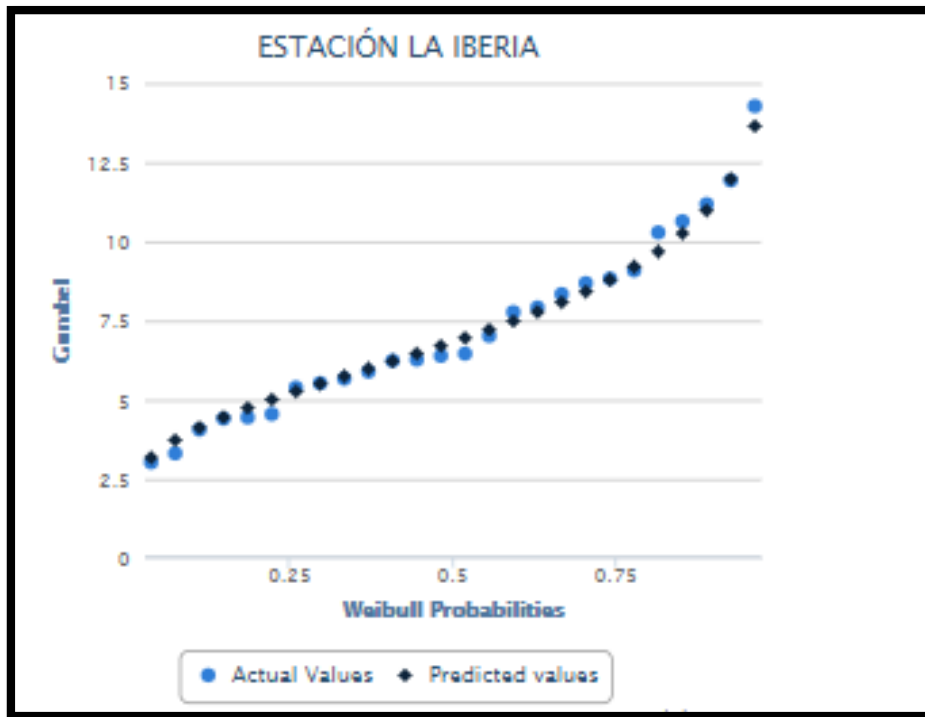
3.6.4 Análisis de distribución método Gumbel – Estación la Iberia

Tabla 34 Método de distribución Gumbel estación la Iberia

First Moment	7.217	
Second Moment	7.928	
Third Moment	13.772	
Skew	0.6169	
Distribution Method	Gumbel	
Number of Points	26	
Maximum	14.28	
Minimum	3.03	
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data
	0.037	3.03
	0.0741	3.31
	0.1111	4.06
	0.1481	4.41
	0.1852	4.45
	0.2222	4.55
	0.2593	5.39
	0.2963	5.53
	0.3333	5.67
	0.3704	5.89
	0.4074	6.24
	0.4444	6.27
	0.4815	6.39
	0.5185	6.46
	0.5556	7.02
	0.5926	7.77
	0.6296	7.92
	0.6667	8.34
	0.7037	8.69
	0.7407	8.83
	0.7778	9.09
	0.8148	10.29
	0.8519	10.64
	0.8889	11.18
	0.9259	11.93
	0.963	14.28
	Predicted Data	
	3.1747	
	3.728	
	4.1249	
	4.4538	
	4.745	
	5.0131	
	5.2665	
	5.5106	
	5.7493	
	5.9855	
	6.2219	
	6.4608	
	6.7043	
	6.9549	
	7.215	
	7.4875	
	7.7761	
	8.0852	
	8.4206	
	8.7903	
	9.2061	
	9.6858	
	10.2593	
	10.9821	
	11.9794	
	13.6493	
Return Periods	Return Period	Probability
	500	0.998
	200	0.995
	100	0.99
	50	0.98
	25	0.96
	10	0.9
	Prediction	
	20.5311	
	18.3803	
	16.75	
	15.1138	
	13.4653	
	11.2433	

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 49 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities la Iberia



Fuente de elaboración: Propia

3.7 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 7: - CADILLAL – 2120877

Tabla 35 Caudales máximos estación Cadillal

ESTACIÓN : 2120877 CADILLAL		
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	
MUNICIPIO	SESQUILE	
OFICINA PROVINCIAL	2 ALMEIDAS - GUATAVITA	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1991	2,76	0,83
1992	1,07	1,07
1993	1,32	1,32
1994	3,67	1,41
1995	2,67	1,96
1996	3,68	2,26
1997	3,75	2,57
1998	4,02	2,67
1999	5,37	2,76
2000	3,77	3,19
2001	3,49	3,49
2002	3,53	3,53
2003	17,91	3,67
2004	96,06	3,68
2005	23,84	3,75
2006	3,91	3,77
2007	1,96	3,91
2008	4,16	4,02
2009	4,89	4,16
2010	5,55	4,22
2011	4,55	4,55
2012	5,21	4,89
2013	4,22	5,21
2014	3,19	5,37
2015	1,41	5,55
2016	2,57	17,91
2017	2,264	23,841
2018	0,834	96,057

Fuente de elaboración: Propia

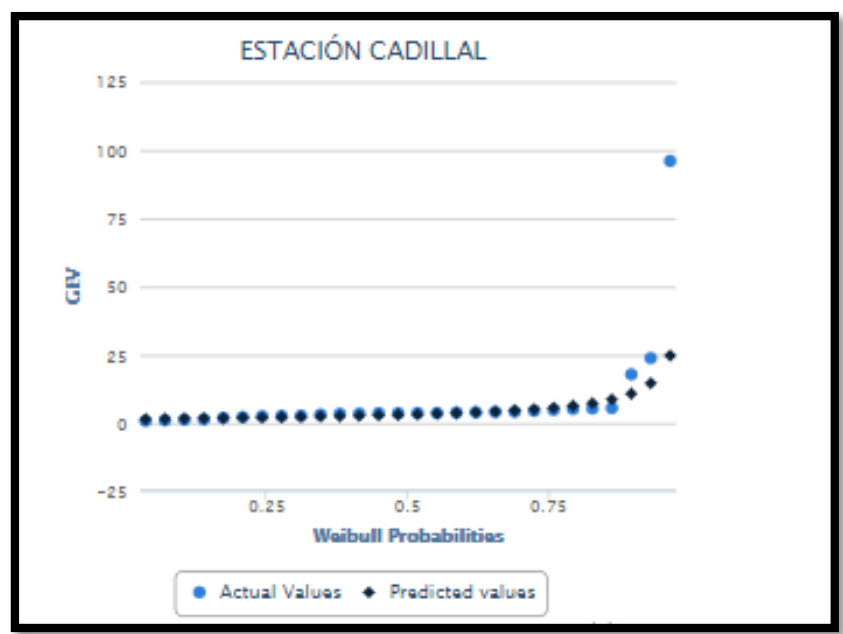
3.7.2 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 36 método de distribución GEV estación cadillal

First Moment	7.914	
Second Moment	321.707	
Third Moment	24,530.657	
Skew	4.2513	
Distribution Method	GEV	
Number of Points	28	
Maximum	96.06	
Minimum	0.83	
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data
	0.0345	0.8342
	0.069	1.0715
	0.1034	1.3188
	0.1379	1.4073
	0.1724	1.9574
	0.2069	2.2642
	0.2414	2.5662
	0.2759	2.6655
	0.3103	2.7598
	0.3448	3.1949
	0.3793	3.4868
	0.4138	3.5311
	0.4483	3.667
	0.4828	3.6777
	0.5172	3.748
	0.5517	3.7668
	0.5862	3.9116
	0.6207	4.0185
	0.6552	4.1576
	0.6897	4.2226
	0.7241	4.5547
	0.7586	4.8857
	0.7931	5.2053
	0.8276	5.3698
	0.8621	5.5468
	0.8966	17.9086
	0.931	23.8412
	0.9655	96.0571
Return Periods	Return Period	Probability
	500	0.998
	200	0.995
	100	0.99
	50	0.98
	25	0.96
	10	0.9
	Prediction	
	216.8512	
	107.6489	
	63.4457	
	37.4442	
	22.136	
	11.0727	

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 50 Distribución GEV vs Weibull probabilities Estación Cadillal



Fuente de elaboración: Propia

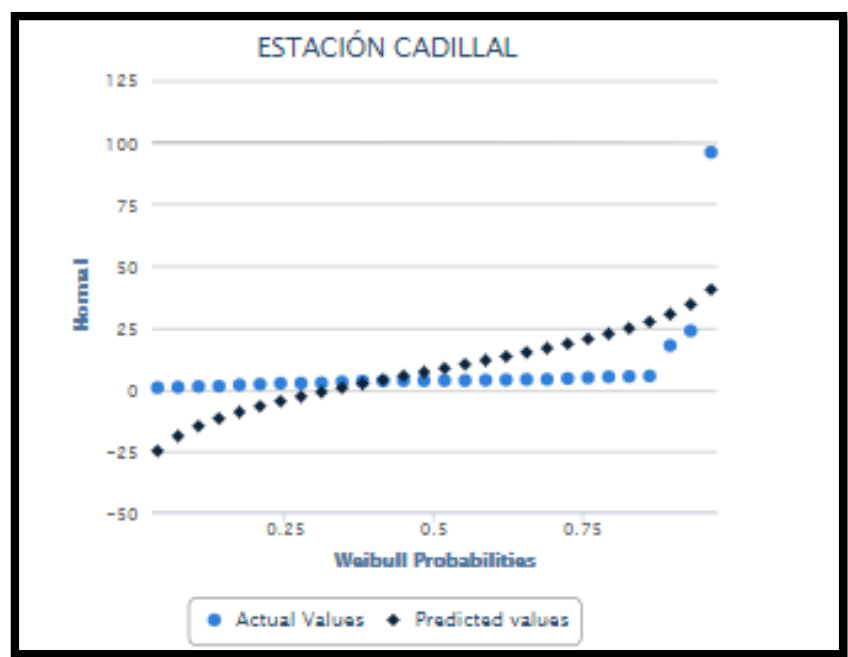
3.7.3 Análisis de distribución método normal

Tabla 37 método de distribución Normal estación Cadillal

First Moment	7.914		
Second Moment	321.707		
Third Moment	24,530.657		
Skew	4.2513		
Distribution Method	Normal		
Number of Points	28		
Maximum	96.06		
Minimum	0.83		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0345	0.8342	-24.7128
	0.069	1.0715	-18.7002
	0.1034	1.3188	-14.727
	0.1379	1.4073	-11.6311
	0.1724	1.9574	-9.0284
	0.2069	2.2642	-6.7408
	0.2414	2.5662	-4.6699
	0.2759	2.6655	-2.7548
	0.3103	2.7598	-0.9547
	0.3448	3.1949	0.7596
	0.3793	3.4868	2.4102
	0.4138	3.5311	4.0145
	0.4483	3.667	5.5871
	0.4828	3.6777	7.1407
	0.5172	3.748	8.6876
	0.5517	3.7668	10.2412
	0.5862	3.9116	11.8138
	0.6207	4.0185	13.4181
	0.6552	4.1576	15.0687
	0.6897	4.2226	16.783
	0.7241	4.5547	18.5831
	0.7586	4.8857	20.4982
	0.7931	5.2053	22.5691
	0.8276	5.3698	24.8567
	0.8621	5.5468	27.4594
	0.8966	17.9086	30.5553
	0.931	23.8412	34.5286
	0.9655	96.0571	40.5412
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	59.5437
	200	0.995	54.1222
	100	0.99	49.648
	50	0.98	44.7586
	25	0.96	39.3219
	10	0.9	30.9036

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 51 Distribución Normal vs Weibull probabilities Estación Cadillal



Fuente de elaboración: Propia

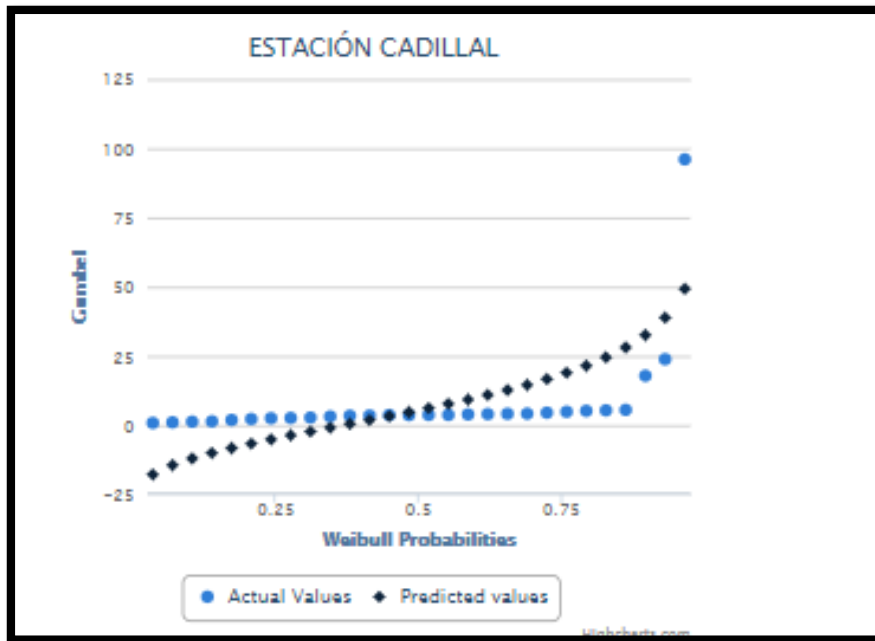
3.7.4 Análisis de distribución método Gumbel

Tabla 38 método de distribución Gumbel estación Cadillal

First Moment	7.914		
Second Moment	321.707		
Third Moment	24,530.657		
Skew	4.2513		
Distribution Method	Gumbel		
Number of Points	28		
Maximum	96.06		
Minimum	0.83		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0345	0.8342	-17.7822
	0.069	1.0715	-14.3948
	0.1034	1.3188	-11.9781
	0.1379	1.4073	-9.9852
	0.1724	1.9574	-8.2287
	0.2069	2.2642	-6.6194
	0.2414	2.5662	-5.1061
	0.2759	2.6655	-3.6561
	0.3103	2.7598	-2.2464
	0.3448	3.1949	-0.8596
	0.3793	3.4868	0.5188
	0.4138	3.5311	1.901
	0.4483	3.667	3.2986
	0.4828	3.6777	4.7229
	0.5172	3.748	6.1858
	0.5517	3.7668	7.7
	0.5862	3.9116	9.2803
	0.6207	4.0185	10.9439
	0.6552	4.1576	12.7123
	0.6897	4.2226	14.6129
	0.7241	4.5547	16.6818
	0.7586	4.8857	18.9692
	0.7931	5.2053	21.5477
	0.8276	5.3698	24.5291
	0.8621	5.5468	28.1003
	0.8966	17.9086	32.6105
	0.931	23.8412	38.8429
	0.9655	96.0571	49.2952
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	91.3856
	200	0.995	77.8965
	100	0.99	67.6721
	50	0.98	57.4102
	25	0.96	47.072
	10	0.9	33.1365

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 52 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities Estación Cadillal



Fuente de elaboración: Propia

3.8 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 8: - BOCATOMA PIRINEOS – 2119718

Tabla 39 caudales máximos estación bocatoma pirineos

ESTACIÓN: 2119718 BOCATOMA PIRINEOS		
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	
MUNICIPIO	SAN BERNARDO	
OFICINA PROVINCIAL	12 SUMAPAZ	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1998	2,85	0,31
1999	2,51	0,33
2000	1,64	0,33
2001	0,98	0,34
2002	1,66	0,34
2003	1,06	0,35
2004	1,15	0,83
2005	1,19	0,98
2006	1,05	1,05
2007	8,14	1,06
2008	4,41	1,15
2009	0,33	1,19
2010	0,34	1,58
2011	0,35	1,64
2012	0,31	1,66
2013	0,33	2,51
2014	0,34	2,81
2015	0,83	2,85
2016	1,58	3,09
2017	2,81	4,41
2018	3,09	8,14

Fuente de elaboración: Propia

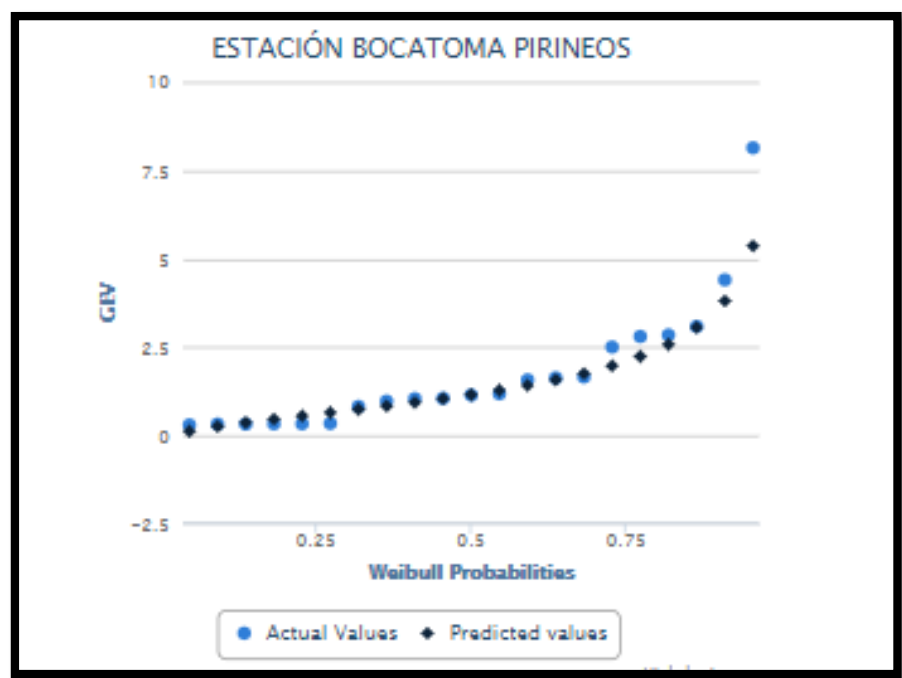
3.8.2 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 40 método de distribución GEV estación bocatoma pirineos

First Moment	1.760		
Second Moment	3.389		
Third Moment	12.562		
Skew	2.0133		
Distribution Method	GEV		
Number of Points	21		
Maximum	8.14		
Minimum	0.31		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0455	0.31	0.1257
	0.0909	0.33	0.2639
	0.1364	0.33	0.3732
	0.1818	0.34	0.4713
	0.2273	0.34	0.5645
	0.2727	0.35	0.6562
	0.3182	0.83	0.7488
	0.3636	0.98	0.844
	0.4091	1.05	0.9435
	0.4545	1.06	1.0491
	0.5	1.15	1.1628
	0.5455	1.19	1.2871
	0.5909	1.58	1.4252
	0.6364	1.64	1.5816
	0.6818	1.66	1.7625
	0.7273	2.51	1.9776
	0.7727	2.81	2.2426
	0.8182	2.85	2.5852
	0.8636	3.09	3.0619
Return Periods	0.9091	4.41	3.8129
	0.9545	8.14	5.3637
	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	20.0526
	200	0.995	13.8973
	100	0.99	10.4458
	50	0.98	7.7711
	25	0.96	5.6934
	10	0.9	3.6272

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 53 Distribución GEV vs Weibull probabilities - Estación Bocatoma Pirineos



Fuente de elaboración: Propia

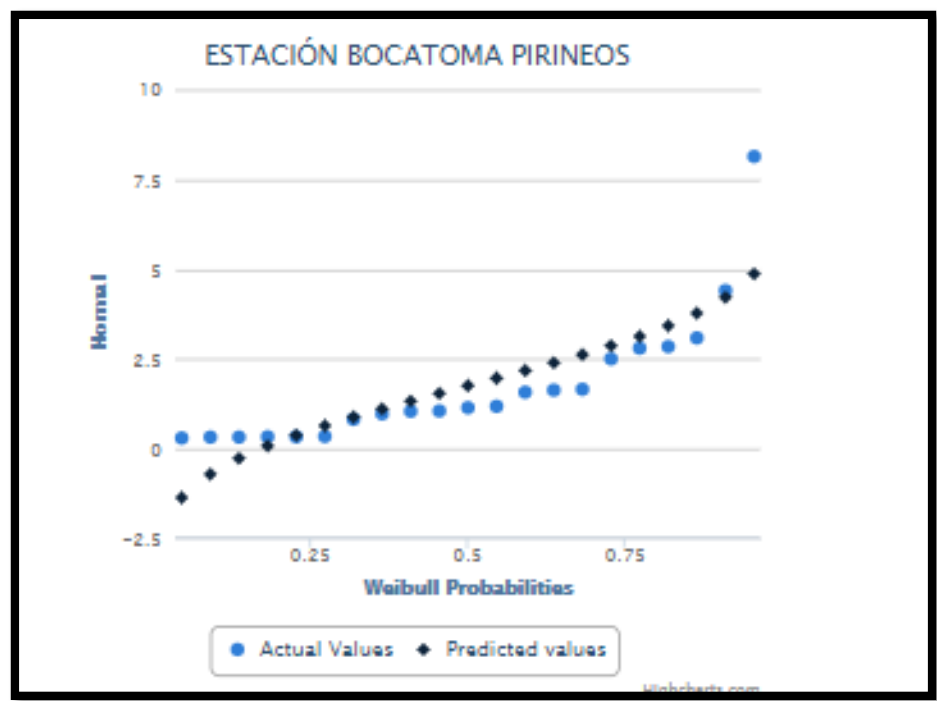
3.8.3 Análisis de distribución método normal

Tabla 41 Método de distribución normal estación Bocatoma Pirineos

First Moment	1.760	
Second Moment	3.389	
Third Moment	12.562	
Skew	2.0133	
Distribution Method	Normal	
Number of Points	21	
Maximum	8.14	
Minimum	0.31	
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data
	0.0455	0.31
	0.0909	0.33
	0.1364	0.33
	0.1818	0.34
	0.2273	0.34
	0.2727	0.35
	0.3182	0.83
	0.3636	0.98
	0.4091	1.05
	0.4545	1.06
	0.5	1.15
	0.5455	1.19
	0.5909	1.58
	0.6364	1.64
	0.6818	1.66
	0.7273	2.51
	0.7727	2.81
	0.8182	2.85
	0.8636	3.09
Return Periods	0.9091	4.41
	0.9545	8.14
	Return Period	Probability
	500	0.998
	200	0.995
	100	0.99
	50	0.98
	25	0.96
	10	0.9
	5	0.8
	2.33	0.5708
	Prediction	
	7.0588	
	6.5023	
	6.0431	
	5.5412	
	4.9832	
	4.1192	
	3.3086	
	2.0874	

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 54 Distribución normal vs Weibull probabilities - Estación Bocatoma Pirineos



Fuente de elaboración: Propia

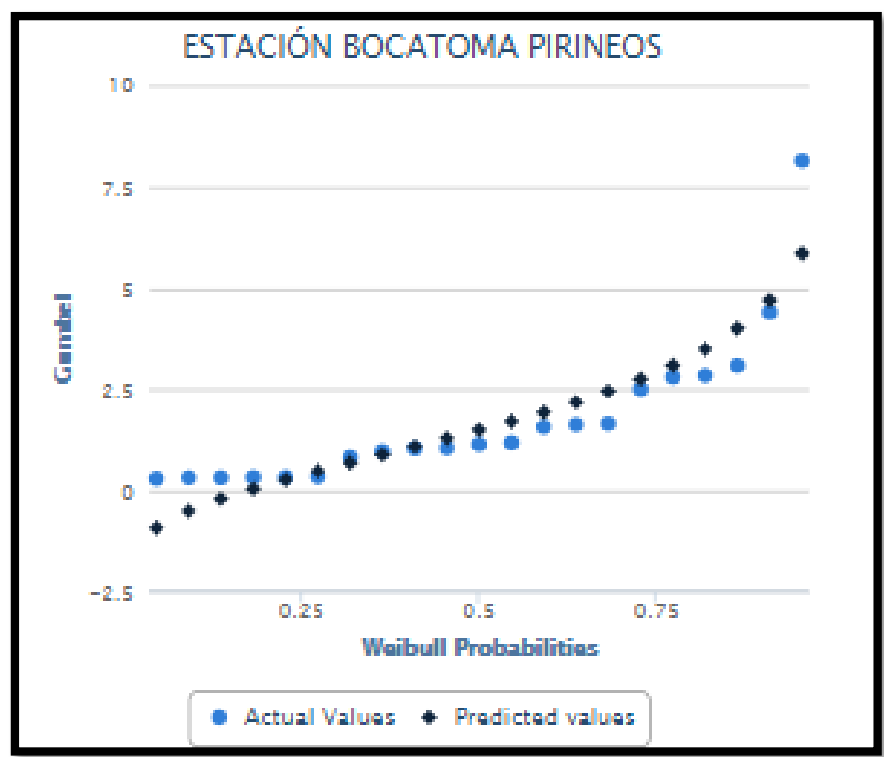
3.8.4 Análisis de distribución método Gumbel

Tabla 42 Método de distribución Gumbel estación Bocatoma Pirineos

First Moment	1.760	
Second Moment	3.389	
Third Moment	12.562	
Skew	2.0133	
Distribution Method	Gumbel	
Number of Points	21	
Maximum	8.14	
Minimum	0.31	
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data
	0.0455	0.31
	0.0909	0.33
	0.1364	0.33
	0.1818	0.34
	0.2273	0.34
	0.2727	0.35
	0.3182	0.83
	0.3636	0.98
	0.4091	1.05
	0.4545	1.06
	0.5	1.15
	0.5455	1.19
	0.5909	1.58
	0.6364	1.64
	0.6818	1.66
	0.7273	2.51
	0.7727	2.81
	0.8182	2.85
	0.8636	3.09
Return Periods	0.9091	4.41
	0.9545	8.14
	Return Period	Probability
	500	0.998
	200	0.995
	100	0.99
	50	0.98
	25	0.96
	10	0.9
	5	0.8
	2.33	0.5708
	Prediction	
	10.9169	
	9.4394	
	8.3195	
	7.1955	
	6.0631	
	4.5367	
	3.3287	
	1.8454	

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 55 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities - Estación Bocatoma Pirineos



Fuente de elaboración: Propia

3.9 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 9: - 2120967 - PASO ANCHO

Tabla 43 Caudales máximos estación Paso Ancho

ESTACIÓN : 2120967 PASO ANCHO		
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	
MUNICIPIO	ZIPAQUIRA	
OFICINA PROVINCIAL	9 SABANA CENTRO	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1999	0,971	0,009
2000	0,470	0,010
2001	0,326	0,092
2002	0,496	0,326
2003	0,092	0,470
2004	0,010	0,496
2005	0,009	0,529
2006	3,360	0,529
2007	1,665	0,821
2008	0,821	0,873
2009	2,606	0,971
2010	5,259	1,196
2011	5,101	1,227
2012	1,291	1,291
2013	1,196	1,665
2014	1,227	2,606
2016	0,873	3,360
2017	0,529	5,101
2018	0,529	5,259

Fuente de elaboración: Propia

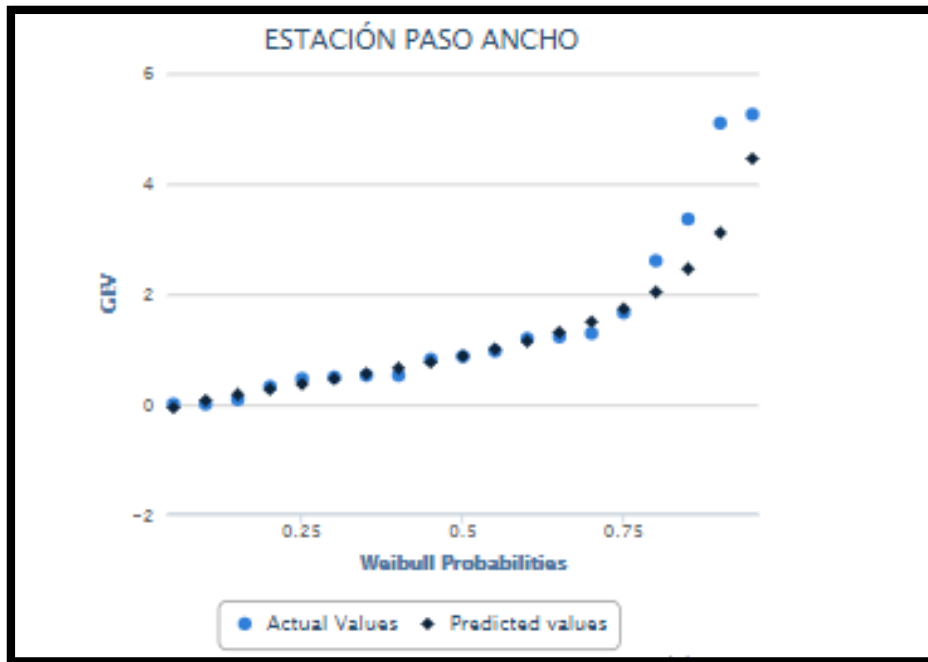
3.9.2 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 44 Método de distribución GEV estación Paso Ancho

First Moment	1.412		
Second Moment	2.487		
Third Moment	5.457		
Skew	1.3914		
Distribution Method	GEV		
Number of Points	19		
Maximum	5.26		
Minimum	0.01		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.05	0.009	-0.0589
	0.1	0.01	0.0754
	0.15	0.092	0.1828
	0.2	0.326	0.2801
	0.25	0.47	0.3735
	0.3	0.496	0.4666
	0.35	0.529	0.5616
	0.4	0.529	0.6608
	0.45	0.821	0.7662
	0.5	0.873	0.8802
	0.55	0.971	1.0057
	0.6	1.196	1.1469
	0.65	1.227	1.3091
	0.7	1.291	1.5009
	0.75	1.665	1.7358
	0.8	2.606	2.0381
	0.85	3.36	2.4565
	0.9	5.101	3.1119
0.95	5.259	4.4555	
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	17.5437
	200	0.995	12.1893
	100	0.99	9.1643
	50	0.98	6.8048
	25	0.96	4.9602
	10	0.9	3.1119
	5	0.8	2.0381
	2.33	0.5708	1.0623

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 56 Distribución GEV vs Weibull probabilities - Estación Paso Ancho



Fuente de elaboración: Propia

3.9.3 Análisis de distribución método normal

Tabla 45 Método de distribución normal estación Paso Ancho

First Moment 1.412
 Second Moment 2.487
 Third Moment 5.457
 Skew 1.3914
 Distribution Method Normal
 Number of Points 19
 Maximum 5.26
 Minimum 0.01

Plot Position	Actual Data	Predicted Data
0.05	0.009	-1.1823
0.1	0.01	-0.6091
0.15	0.092	-0.2223
0.2	0.326	0.0852
0.25	0.47	0.349
0.3	0.496	0.5858
0.35	0.529	0.8052
0.4	0.529	1.0133
0.45	0.821	1.2144
0.5	0.873	1.4122
0.55	0.971	1.6099
0.6	1.196	1.811
0.65	1.227	2.0191
0.7	1.291	2.2385
0.75	1.665	2.4754
0.8	2.606	2.7391
0.85	3.36	3.0466
0.9	5.101	3.4334
0.95	5.259	4.0066

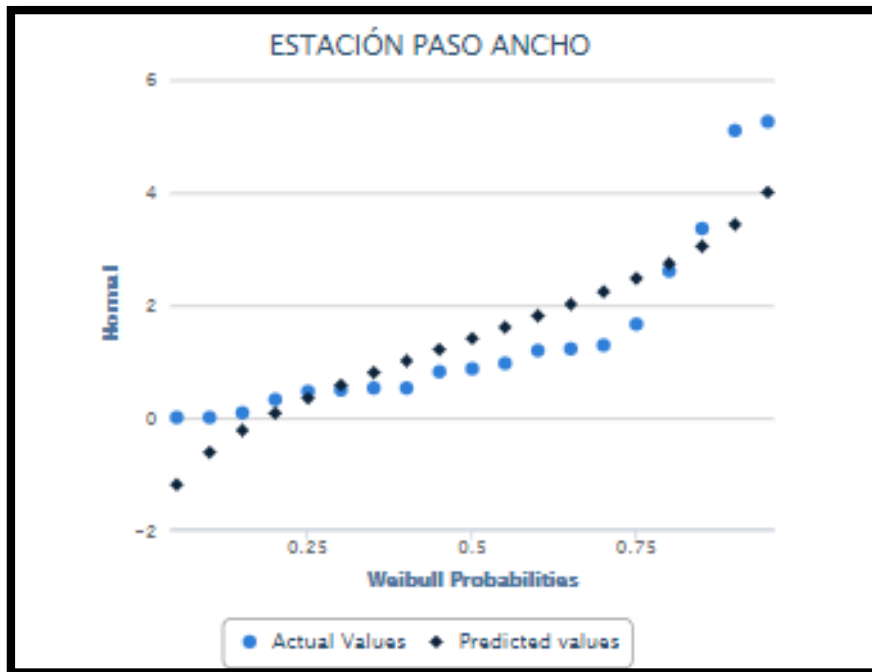
Values and Prediction

Return Period	Probability	Prediction
500	0.998	5.9515
200	0.995	5.4749
100	0.99	5.0815
50	0.98	4.6516
25	0.96	4.1736
10	0.9	3.4334
5	0.8	2.7391
2.33	0.5708	1.693

Return Periods

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 57 Distribución normal vs Weibull probabilities - Estación Paso Ancho



Fuente de elaboración: Propia

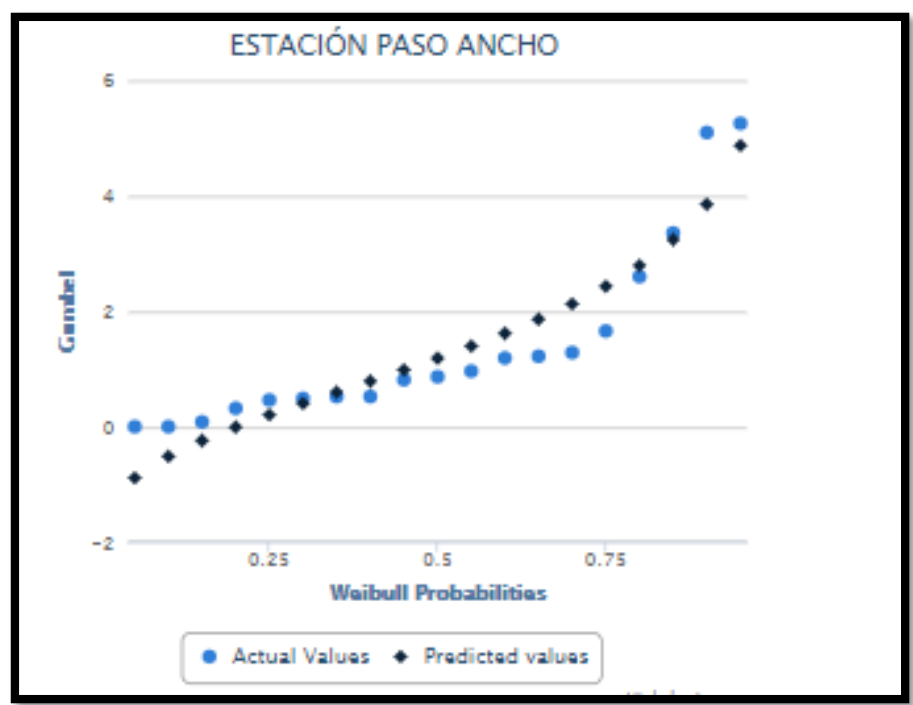
3.9.4 Análisis de distribución método Gumbel

Tabla 46 Método de distribución Gumbel estación Paso Ancho

First Moment	1.412		
Second Moment	2.487		
Third Moment	5.457		
Skew	1.3914		
Distribution Method	Gumbel		
Number of Points	19		
Maximum	5.26		
Minimum	0.01		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.05	0.009	-0.8784
	0.1	0.01	-0.5061
	0.15	0.092	-0.232
	0.2	0.326	0.0007
	0.25	0.47	0.2118
	0.3	0.496	0.4113
	0.35	0.529	0.6052
	0.4	0.529	0.7977
	0.45	0.821	0.9923
	0.5	0.873	1.1925
	0.55	0.971	1.4018
	0.6	1.196	1.6244
	0.65	1.227	1.8655
	0.7	1.291	2.1326
	0.75	1.665	2.4367
	0.8	2.606	2.7961
	0.85	3.36	3.2447
	0.9	5.101	3.8579
	0.95	5.259	4.8763
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	9.4653
	200	0.995	8.1667
	100	0.99	7.1825
	50	0.98	6.1946
	25	0.96	5.1994
	10	0.9	3.8579
	5	0.8	2.7961
	2.33	0.5708	1.4926

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 58 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities - Estación Paso Ancho



Fuente de elaboración: Propia

3.10 CAUDALES MÁXIMOS PROMEDIO ANUALES DE ESTACIÓN 10: - 2119733 – PUENTE NEGRO

Tabla 47 Caudales máximos estación Puente Negro

ESTACIÓN : 2119733 PTE NEGRO		
DEPARTAMENTO	CUNDINAMARCA	
MUNICIPIO	PANDI	
OFICINA PROVINCIAL	12 SUMAPAZ	
AÑO	CAUDALES MÁXIMOS	CAUDALES MÁXIMOS ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
1998	21,347	6,990
1999	23,489	7,000
2000	7,452	7,452
2001	7,000	9,314
2002	10,085	9,624
2003	15,178	10,085
2007	6,990	15,178
2008	19,997	16,360
2009	20,587	17,503
2010	26,275	17,596
2011	35,549	18,385
2012	17,596	19,675
2013	17,503	19,997
2014	18,385	20,587
2015	9,624	21,347
2016	9,314	23,489
2017	16,360	26,275
2018	19,675	35,549

Fuente de elaboración: Propia

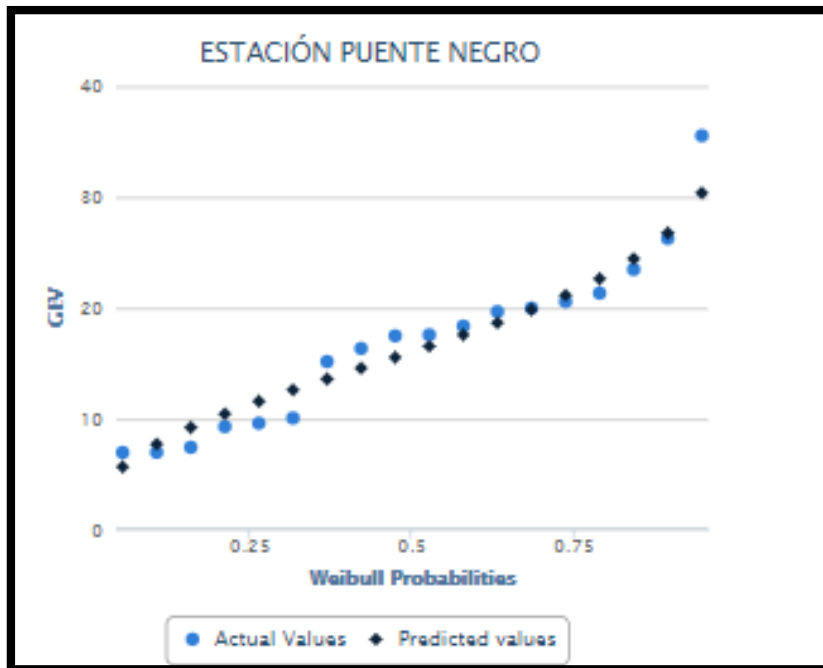
3.10.2 Análisis de distribución método (GEV)

Tabla 48 Método de distribución GEV estación Puente Negro

First Moment	16.800		
Second Moment	57.547		
Third Moment	230.608		
Skew	0.5283		
Distribution Method	GEV		
Number of Points	18		
Maximum	35.55		
Minimum	6.99		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0526	6.99	5.681
	0.1053	7	7.7499
	0.1579	7.452	9.2367
	0.2105	9.314	10.4767
	0.2632	9.624	11.5853
	0.3158	10.085	12.619
	0.3684	15.178	13.6115
	0.4211	16.36	14.5865
	0.4737	17.503	15.5629
	0.5263	17.596	16.5582
	0.5789	18.385	17.5905
	0.6316	19.675	18.6813
	0.6842	19.997	19.8583
	0.7368	20.587	21.1609
	0.7895	21.347	22.6519
	0.8421	23.489	24.4432
	0.8947	26.275	26.7758
	0.9474	35.549	30.3762
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	43.282
	200	0.995	40.2015
	100	0.99	37.6211
	50	0.98	34.7973
	25	0.96	31.6938
	10	0.9	27.0576
	5	0.8	22.9811
	2.33	0.5708	17.4278

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 59 Distribución GEV vs Weibull probabilities - Estación Pte Negro



Fuente de elaboración: Propia

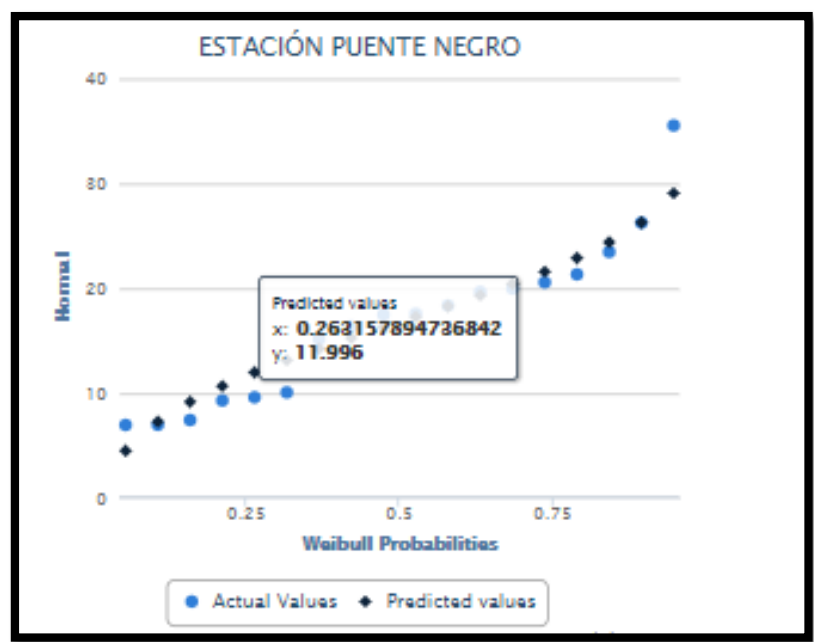
3.10.3 Análisis de distribución método normal

Tabla 49 método de distribución normal estación Puente Negro

First Moment	16.800		
Second Moment	57.547		
Third Moment	230.608		
Skew	0.5283		
Distribution Method	Normal		
Number of Points	18		
Maximum	35.55		
Minimum	6.99		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0526	6.99	4.5094
	0.1053	7	7.3005
	0.1579	7.452	9.1906
	0.2105	9.314	10.6981
	0.2632	9.624	11.996
	0.3158	10.085	13.1659
	0.3684	15.178	14.2545
	0.4211	16.36	15.292
	0.4737	17.503	16.3008
	0.5263	17.596	17.2999
	0.5789	18.385	18.3087
	0.6316	19.675	19.3462
	0.6842	19.997	20.4347
	0.7368	20.587	21.6047
	0.7895	21.347	22.9026
	0.8421	23.489	24.41
	0.8947	26.275	26.3001
	0.9474	35.549	29.0912
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	38.6367
	200	0.995	36.3436
	100	0.99	34.4513
	50	0.98	32.3834
	25	0.96	30.084
	10	0.9	26.5236
	5	0.8	23.1837
	2.33	0.5708	18.1514

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 60 Distribución normal vs Weibull probabilities - Estación Puente Negro



Fuente de elaboración: Propia

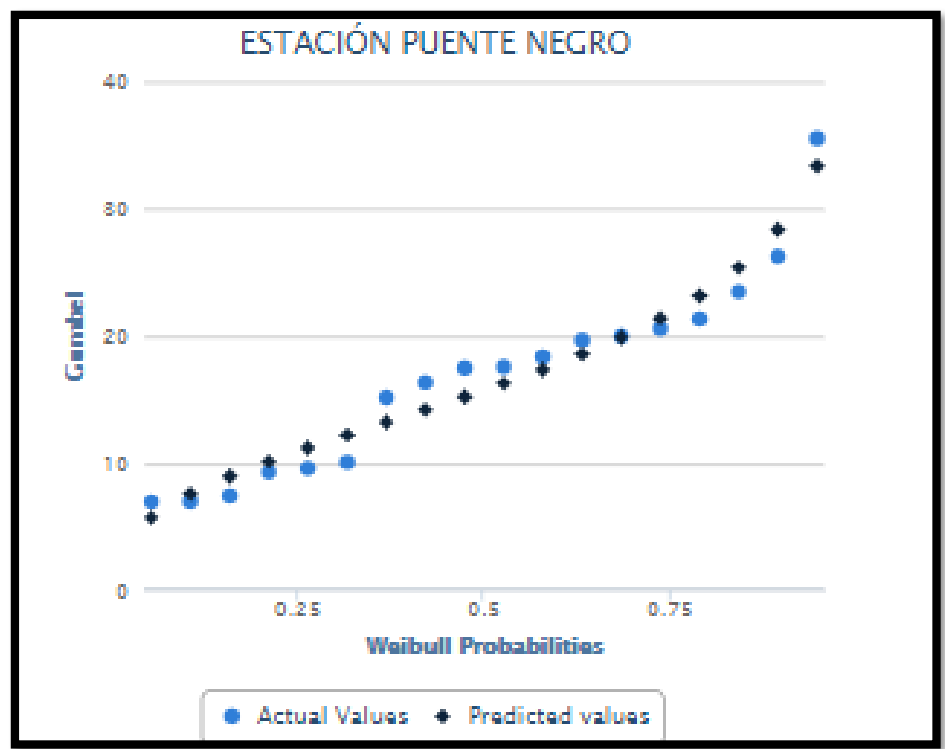
3.10.4 Análisis de distribución método Gumbel

Tabla 50 Método de distribución Gumbel estación Puente Negro

First Moment	16.800		
Second Moment	57.547		
Third Moment	230.608		
Skew	0.5283		
Distribution Method	Gumbel		
Number of Points	18		
Maximum	35.55		
Minimum	6.99		
Values and Prediction	Plot Position	Actual Data	Predicted Data
	0.0526	6.99	5.7527
	0.1053	7	7.6064
	0.1579	7.452	8.9778
	0.2105	9.314	10.1478
	0.2632	9.624	11.2153
	0.3158	10.085	12.2293
	0.3684	15.178	13.2208
	0.4211	16.36	14.2122
	0.4737	17.503	15.223
	0.5263	17.596	16.2727
	0.5789	18.385	17.3828
	0.6316	19.675	18.5803
	0.6842	19.997	19.902
	0.7368	20.387	21.4024
	0.7895	21.347	23.171
	0.8421	23.489	25.373
	0.8947	26.275	28.3775
	0.9474	35.549	33.359
Return Periods	Return Period	Probability	Prediction
	500	0.998	56.1217
	200	0.995	49.7834
	100	0.99	44.9792
	50	0.98	40.1573
	25	0.96	35.2996
	10	0.9	28.7516
	5	0.8	23.5692
	2.33	0.5708	17.2063

Fuente de elaboración: Propia

Gráfica 61 Distribución Gumbel vs Weibull probabilities - Estación Pte Negro



Fuente de elaboración: Propia

4 CURVAS DE REGIONALIZACIÓN

Se realiza el cálculo del valor promedio de la relación $Q_T/Q_{2,33}$ para la región en los diferentes periodos de retorno, basado en los valores individuales para cada una de las estaciones. El valor del Q_T se calcula instituyendo en primer lugar el valor el $Q_{2,33}$ con la relación generalizada para la región y se toma $Q_T/Q_{2,33}$ para cada una de las regiones. A continuación, se estipulan las dos regiones estimadas, para un total de 8 estaciones tomadas que se localizan sobre las corrientes de la provincia y municipios que la conforman.

4.1 REGIÓN 1

Para la región 1 se toman tres estaciones, teniendo en cuenta que son homogéneas en cuanto a caudal máximo promedio anual que corresponde a $Q_{2,33}$.

Tabla 51 estaciones región 1

REGIÓN 1				
Código	Estación	Corriente	Área (km ²)	Q 2.33 (m ³ /s)
2120798	San Isidro	R. SIECHA	61,3	6,237
2306734	El Puente	R. BITUIMA	544,8	5,751
2306732	Paso del Rejo Tigre	R. EL TIGRE	25,6	4,6

Fuente de Elaboración: Propia

4.2 REGIÓN 2

Para la región 2 se toman cinco estaciones, teniendo en cuenta que estas son directamente proporcionales a mayor área mayor caudal promedio medio anual.

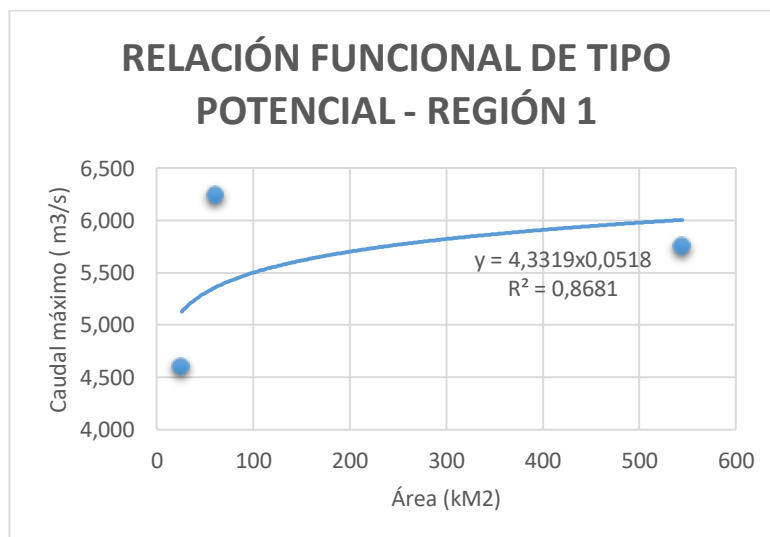
Tabla 52 Estaciones región 2

REGIÓN 2				
Código	Estación	Corriente	Área (km ²)	Q 2.33 (m ³ /s)
2120870	La iberia	R. SAN FRANCISCO	92,3	7,326
2306711	Puente Naranjal	R. NEGRO	385,3	36,345
2119718	Bocatoma pinireos	Q. AGUAS CLARAS	5,6	1,845
2120967	Paso Ancho	R. NEGRO	31,9	1,492
2119733	Puente negro	R. NEGRO	235,9	17,206

Fuente de Elaboración: Propia

4.3 RELACIÓN DEL CAUDAL MEDIO CON EL ÁREA AFERENTE EN LA REGIÓN 1

Gráfica 62 Relación del caudal medio con el área aferente en la región 1



Fuente de Elaboración: Propia

De acuerdo a la tabla N° 52 se constituye la regresión mediante Excel, en el cual se logra la correlación de tipo potencial según la siguiente ecuación:

$$Q_{2.33} = 4,3319 \cdot A^{0,0518}$$

Donde:

Q_{2.33}: Caudal medio de los caudales máximos anuales; A: Área aferente.

En la Gráfica se presenta la relación práctica de tipo potencial determinada entre la media de los caudales máximos y el área de la cuenca hidrográfica.

4.4 CURVA REGIONAL TOMANDO LAS ESTACIONES DE LA REGIÓN 1.

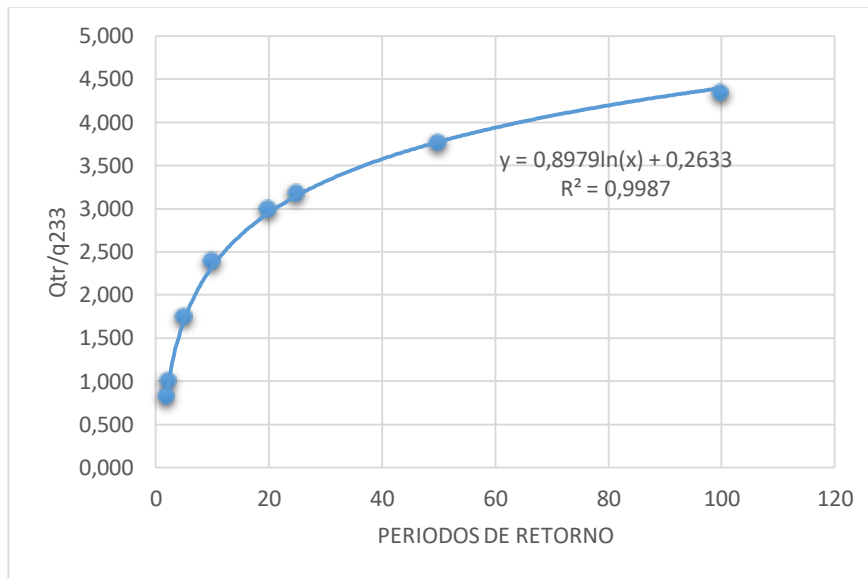
Tabla 53 Relación entre caudal máximo y caudal medio anual

REGIÓN 1								
PERIODOS DE RETORNO	2	2,33	5	10	20	25	50	100
SAN ISIDRO	0,867	1	1,521	2,050	2,502	2,646	3,087	3,526
EL PUENTE	0,778	1	1,963	2,748	3,500	3,739	4,475	5,205
PASO DEL REJO DEL TIG	0,826	1	1,755	2,370	2,960	3,147	3,723	4,295
CURVA REGIONAL	0,824	1,000	1,746	2,389	2,987	3,177	3,762	4,342

Fuente de Elaboración: Propia

Para la gráfica N° 63 se realiza la relación caudal máximo anual y el promedio del caudal máximo $Q_{m\acute{a}x}/Q_{2,33}$, esto para determinar la curva regional 1 en diferentes periodos de retorno.

Gráfica 63 Curva regional de frecuencia R. 2



Fuente de Elaboración: Propia

De acuerdo a la tabla N° 52 se constituye la regresión mediante Excel, en el cual se logra la correlación de tipo logarítmica según la siguiente ecuación:

$$\frac{QTr}{Q2.33} = 0,8979\ln(Tr) + 0,2633$$

Dónde:

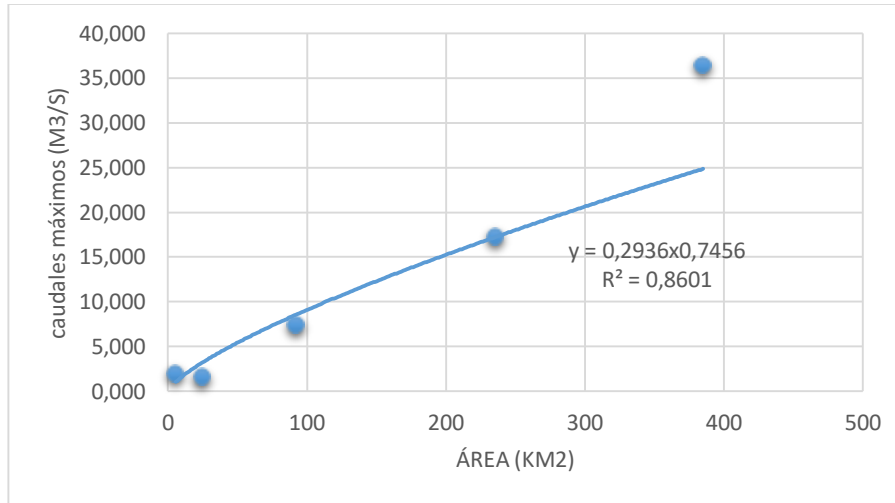
$\frac{QTr}{Q2.33}$: Caudal medio de los caudales máximos anuales;

Tr: periodo de retorno (años)

4.5 RELACIÓN POTENCIAL ENTRE CAUDALES MÁXIMOS ANUALES Y ÁREA AFERENTE EN LA REGIÓN 2.

En la gráfica N° 64 se toman los datos que corresponden a la tabla N° 53, en la cual se establecen los caudales máximos anuales promedio y el área aferente de cada estación en la región N° 2.

Gráfica 64 Relación potencial entre caudales máximos anuales y área afrente.



Fuente de Elaboración: Propia

Para la gráfica N° 64 se realiza la relación caudal máximo de cada estación y el área aferente de cada una de las estaciones tomadas para la región N° 2, obteniendo así la siguiente ecuación potencial:

$$Q_{2,33} = 0,2936 \cdot A^{0,7456}$$

Donde:

Q_{2,33}: Caudal medio de los caudales máximos anuales

A: Área aferente.

4.6 RELACIÓN ÍNDICE CRECIENTE PROMEDIO VS PERIODO DE RETORNO

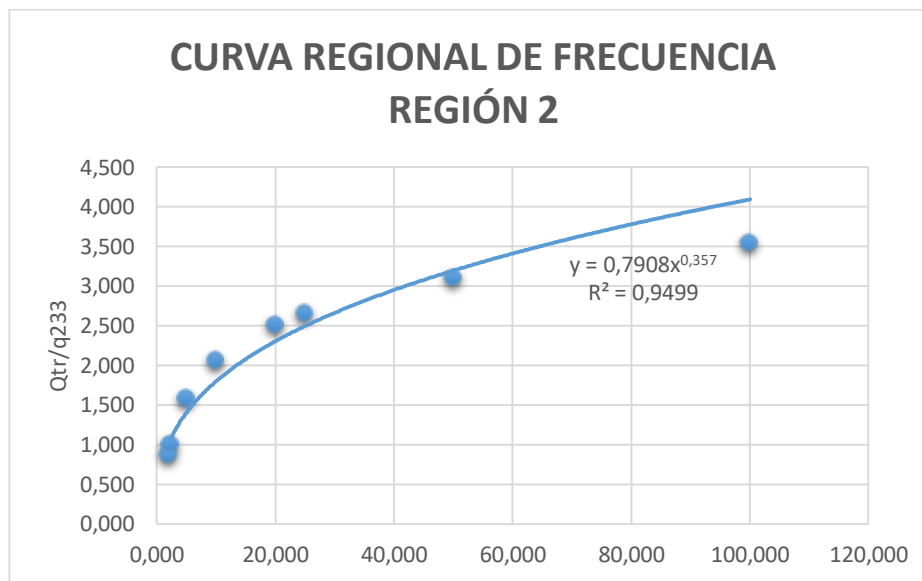
Para la gráfica N° 2 se realiza la relación índice creciente de acuerdo a la tabla N° 55 $Q_{Tr/Q_{2,33}}$, y periodos de retorno, esto para determinar la curva regional 2.

Tabla 54 relación entre caudal máximo y caudal medio anual región 2

PERIODOS DE RETORNO (AÑOS)	2	2,33	5	10	20	25	50	100
LA IBERIA	0,932	1,000	1,295	1,535	1,765	1,838	2,063	2,286
BOCATOMA PIRINEOS	0,815	1,000	1,804	2,458	3,086	3,286	3,899	4,508
PASO ANCHO	0,799	1,000	1,874	2,585	3,267	3,484	4,151	4,813
PUENTE NEGRO	0,915	1,000	1,370	1,671	1,960	2,052	2,334	2,614
PUENTE NARANJAL	0,869	1,000	1,568	2,031	2,475	2,616	3,049	3,480
CURVA REGIONAL	0,866	1,000	1,582	2,056	2,511	2,655	3,099	3,540

Fuente de Elaboración: Propia

Gráfica 65 Curva regional de frecuencia R. 2



Fuente de Elaboración: Propia

Para la relación obtenida en la gráfica N° 65 se obtiene la ecuación de tipo potencial simbolizada mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_{Tr}}{Q_{2.33}} = 0,7908(Tr)^{0,357}$$

Donde:

$\frac{Q_{Tr}}{Q_{2.33}}$: Índice creciente

Tr: periodo de retorno (años)

5 DATOS OBTENIDOS MÉTODO ÍNDICE CRECIENTE

Para determinar los datos del método de índice creciente se toman los caudales máximos observados, que corresponden a datos reales y se realiza la simulación de los caudales máximos para periodos de retorno (2.33, 5, 10, 25, 50, 100), los caudales medio máximos anuales se calculan mediante la relación de la gráfica 63 caudal máximo vs área aferente, los caudales máximos en diversos periodos de retorno se calculan a partir de la relación obtenida en la gráfica N° 64.

Tabla 55 Caudales máximos observados y simulados Región 1.

ÍNDICE CRECIENTE REGIÓN 1													
ESTACIÓN	ÁREA	PERIODOS DE RETORNO											
		QO	QS	QO	QS	QO	QS	QO	QS	QO	QS	QO	QS
		2.33		5		10		25		50		100	
Salitre Blanco	27,50	0,436	0,675	0,701	1,153	0,917	1,573	1,190	1,375	1,392	1,646	1,593	1,918
San Isidro	61,30	6,237	5,361	9,486	9,159	12,786	12,496	16,500	16,907	19,256	20,244	21,991	23,580
El Puente	544,80	5,751	6,004	11,291	10,257	15,803	13,993	21,504	18,933	25,734	22,669	29,932	26,406
Paso del Rejo Tigre	25,60	4,600	5,124	8,073	8,754	10,902	11,943	14,476	16,159	17,127	19,348	19,759	22,538

Fuente de Elaboración: Propia

Para establecer la confirmación de los datos emanados en la región 1 se realiza el cotejo de los caudales observados con los simulados mediante el error absoluto medio y error absoluto medio relativo. Obteniendo así los siguientes:

Tabla 56 error absoluto medio R.1

REGIÓN 1 ERROR ABSOLUTO MEDIO																	
PERIODOS DE RETORNO																	
2,33			5			10			25			50			100		
x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y
0,436	0,675	0,239	0,701	1,153	0,452	0,917	1,573	0,656	1,190	1,375	0,185	1,392	1,646	0,254	1,593	1,918	0,325
6,237	5,361	0,876	9,486	9,159	0,327	12,786	12,496	0,290	16,500	16,907	0,407	19,256	20,244	0,988	21,991	23,580	1,589
5,751	6,004	0,253	11,291	10,257	1,034	15,803	13,993	1,810	21,504	18,933	2,571	25,734	22,669	3,065	29,932	26,406	3,526
4,600	5,124	0,524	8,073	8,754	0,681	10,902	11,943	1,041	14,476	16,159	1,683	17,127	19,348	2,221	19,759	22,538	2,779
SAE		1,89	SAE		2,49	SAE		3,80	SAE		4,85	SAE		6,53	SAE		8,22
MAE		0,47	MAE		0,62	MAE		0,95	MAE		1,21	MAE		1,63	MAE		2,05

Fuente de Elaboración: Propia

Tabla 57 Revalidación de datos R.1

ERROR	PERIODOS DE RETORNO REGIÓN 1				
	2,33	5	10	25	100
MAE	0,47	0,62	0,95	1,21	2,05
RMAE	21,16	21,39	23,71	10,40	13,36

Fuente de Elaboración: Propia

De acuerdo al porcentaje obtenido en cada periodo de retorno y el método RMAE los errores porcentuales en la región 1 entre los caudales máximos observados y los caudales máximos simulados varían desde 10.40% a 23.71%, los cuales están dentro de los rangos admisibles de error (0-25%).

Para determinar los datos del método de índice creciente de la región 2 se toman los caudales máximos observados, que corresponden a datos reales y se realiza la simulación de los caudales máximos para periodos de retorno (2.33, 5, 10,25, 50, 100), los caudales medio máximos anuales se calculan mediante la relación de la gráfica 64 caudal máximo vs área aferente, los caudales máximos en diversos periodos de retorno se calculan a partir de la relación obtenida en la gráfica N° 65.

Tabla 58 caudales máximos observados y simulados Región 2.

INDICE CRECIENTE REGIÓN 2													
ESTACIÓN	ÁREA	I											
		QO	QS	QO	QS	QO	QS	QO	QS	QO	QS	QO	QS
		2.33		5		10		25		50		100	
La iberia	92,30	7,326	8,571	9,485	12,059	11,243	15,455	13,464	18,339	15,112	23,505	16,748	20,125
Bocatoma pinireos	5,60	1,845	1,383	3,327	1,946	4,535	2,494	6,060	4,618	7,192	5,918	8,316	5,687
Paso Ancho	31,70	1,492	1,863	2,796	2,621	3,858	3,360	5,200	4,664	6,195	5,977	7,183	7,661
puente negro	235,90	17,206	17,253	23,569	24,275	28,752	31,112	35,300	43,191	40,157	55,206	44,979	70,946
puente naranjal	385,30	36,345	32,423	56,995	57,371	73,81	65,541	95,063	81,168	110,83	116,612	126,48	133,328

Fuente de Elaboración: Propia

Para establecer la confirmación de los datos emanados en la región 2 se realiza el cotejo de los caudales observados con los simulados mediante el error absoluto medio y error absoluto medio relativo. Obteniendo así los siguientes:

Tabla 59 error absoluto medio R.2

REGIÓN 2 ERROR ABSOLUTO MEDIO																	
PERIODOS DE RETORNO																	
2,33			5			10			25			50			100		
x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y	x	y	X-Y
7,326	8,571	1,245	9,485	12,059	2,574	11,243	15,4553	4,213	13,464	18,339	4,875	15,112	23,505	8,392	16,748	20,125	3,377
1,845	1,383	0,462	3,327	1,946	1,381	4,535	2,4940	2,041	6,060	4,618	1,443	7,192	5,918	1,274	8,316	5,687	2,629
1,492	1,863	0,371	2,796	2,621	0,175	3,858	3,3595	0,498	5,200	4,664	0,536	6,195	5,977	0,217	7,183	7,661	0,478
17,206	17,253	0,047	23,569	24,275	0,706	28,752	31,1121	2,361	35,300	43,191	7,891	40,157	55,206	15,049	44,979	70,946	25,967
36,345	32,423	3,922	56,995	57,371	0,376	73,813	65,5407	8,272	95,063	81,168	13,895	110,828	116,612	5,784	126,476	133,328	6,852
SAE		6,05	SAE		5,21	SAE		17,38	SAE		28,64	SAE		30,72	SAE		39,30
MAE		1,21	MAE		1,04	MAE		3,48	MAE		5,73	MAE		6,14	MAE		7,86

Fuente de Elaboración: Propia

Tabla 60 revalidación de datos R.2

ERROR	PERIODOS DE RETORNO REGION 2				
	2,33	5	10	25	100
MAE	1,21	1,04	3,48	5,73	7,86
RMAE	15,58	15,71	22,96	21,46	24,32

Fuente de Elaboración: Propia

De acuerdo al porcentaje obtenido en cada periodo de retorno y el método RMAE los errores porcentuales en la región 1 entre los caudales máximos observados y los caudales máximos simulados varían desde 15.58% a 24.32%, los cuales están dentro de los rangos admisibles de error (0-25%).

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de desarrollar el presente trabajo de grado se establecen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

6.1 CONCLUSIONES

Para las 8 estaciones analizadas se observó que todas cumplen con la mayoría de los datos proporcionados para la estimación de los caudales máximos anuales, los cuales se utilizaron para el desarrollo y análisis del método de índice de creciente.

Debido al número de estaciones se separó en dos regiones homogéneas para el desarrollo del método de índice de creciente, se separó en dos regiones debido a que al usar una sola región los datos obtenidos no eran los adecuados dado a que presenta una gran dispersión en los métodos estadísticos.

La distribución estadística Gumbel presento un ajuste favorable a las series de datos, por tanto, la desviación estándar en el método nos presenta poco sesgo.

Se obtuvieron las ecuaciones que determinan la relación entre área y caudales máximos, esto se realizó para las dos regiones homogéneas obteniendo como resultado:

La ecuación para la región homogénea 1 es:

$$Q_{2.33} = 0,2936 * A^{0,7456}$$

La ecuación para la región homogénea 2 es:

$$Q_{2.33} = 4,3319 * A^{0,0518}$$

Con estas ecuaciones podemos obtener el caudal máximo de un punto específico de la cuenca que no posea registros teniendo en cuenta el área aferente.

- Mediante la comprobación de error para los caudales máximos observados y los caudales máximos simulados con los métodos MAE y RMAE se valida que se encuentran en un rango aceptable, estando el error entre 0% y 25%, según lo estipulado por la UNESCO en la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur.

6.2 RECOMENDACIONES

Se presenta algunas recomendaciones para futuras investigaciones de estudios de regionalización de caudales máximos por el método de índice de creciente y para el seguimiento del trabajo de grado presentado:

- Para estudios de este tipo se recomienda verificar que los datos proporcionados para el estudio sean actuales y que las series de datos tengan el mismo número de registros para poder reducir el rango de incertidumbres.
- Se recomienda la instalación o activación de nuevas estaciones para la provincia dado que algunas están inactivas y no tantas estaciones para esta región.
- Se recomienda el debido mantenimiento de las estaciones por las entidades encargadas, con adecuación de la maquinaria y mantenimientos preventivos a los equipos de monitoreo y medición, y al personal asignado que tenga una capacitación adecuada para tener más confianza de los datos obtenidos.
- Para un estudio más detallado evaluar parámetros como las precipitaciones, caudales mínimos y otras variables que logren dar una información hidrológica más completa.

7 BIBLIOGRAFÍA

- UNESCO, ROSTLAC, «Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur.,» Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe, Montevideo, 1982.
- Provincia de Gualiva: EL TIEMPO.- <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-945778> (1999).
- Corporación autónoma regional (CAR), «Historico de series hidrometereologicas.» <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524> (2015).
- Corporación autónoma regional (CAR), «Catálogo de Estaciones Hidrometeorológicas.» <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524> (2015).
- Corporación autónoma regional (CAR), « Mapa Estaciones Hidrometeorológicas Activas.» <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524> (2015).
- Corporación autónoma regional (CAR), «Caudales Máximos Absolutos Mensuales.» <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524> (2015).
- H. P. Gallego, «SIAC: Sistema de Información Nacional de Colombia,» [En línea].
Available:<http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=188&conID=909>.
- SMADA, «Manual de estadística SMADA ONLINE.» <https://sites.google.com/site/hydrotoolbox/herramientas/borrador-herramientas/smada> (2012).
- F. Ganancias, «Evaluación de metodologías de regionalización hidrológica: Aplicación a los caudales máximos de cuencas representativas de la región Sur-oeste de la provincia de Córdoba,» Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 2010.

- D. Martinez, «Identificación de modelos estadísticos para la regionalización de los caudales máximos de la cuenca Magdalena-Cauca,» Universidad de la Salle, Bogotá D.C, 2005.
- C. Castillo- N. Ortiz, «Regionalización de caudales máximos en la cuenca del Río Sinú por medio del método estadístico índice de creciente» Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C, 2015.
- J. Salazar, «Una metodología para la estimacion de las curvas de duracion de caudales (CDC) en cuencas no instrumentadas. Caso de aplicación para Colombia en los Departamentos de Santander y Norte de Santander» Universidad Nacional, Bogotá D.C, 2015.
- S. Bermeo, «Estimación de los caudales máximos y caracterización morfométria de la subcuenca del cauce en el sector hidrodependiente del sector de San Francisco-Cundinamarca » Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C, 2018.
- IDEAM (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales). Regionalización de crecientes máximas - Subdirección de hidrología. (1995).
- T. Darlymple, «Flood frequency analysis,» Water Supply paper, 1960.
- A. Aguilera, «Estimación de funciones de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule,» Universidad de Talca, Chile, 2007.
- J. Hosking y J. Wallis, Regional frequency analysis, New York: Cambridge University Press, 1997.
- V. Chow, Statistical and probability analysis of hydrologic data; part I: Frequency analysis. In: Handbook of applied hydrology; a compendium of water resources technology, Mc Graw Hill, 1964.
- C. Cunnane, «Methods and merits of regional flood frequency analysis,» Journal of hydrology, vol. 100, nº 1, pp. 269-290, 1988.
- N. Greis y E. Wood, «Regional flood frequency estimation and network design,» Water resources research, vol. 17, nº 4, pp. 1167-1177, 1981.

- F. Ashkar, «Robust estimators in hydrologic frequency analysis,» Engineering Hydrology, vol.1, pp. 347-352, 1993.
- Holmes, B. (1972). A history of federal water resources programs, 1800-1960. Miscellaneous Publication No. 1233. Washington, D.C.: Dept. of Agriculture.
- Diazgranados, M. (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad – Duración -Frecuencia para Colombia. Revista de Ingeniería Uniandes, 1-13.
- Gaspari a, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. REVISTA AUGMDOMUS. ISSN: 1852-2181.
- Griffis, V., & Stedinger, J. (2007). Evolution of Flood Frequency Analysis with Bulletin 17. JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING.

8 ESTADO DEL ARTE

Se encuentran diversas tesis donde indagan sobre el tema de regionalización de caudales máximos mediante el índice de creciente en un ámbito nacional e internacional, se realizó una búsqueda en diferentes bases de datos y en la web con el propósito de recolectar la suficiente información teórica y metodológica planteada para abordar este tema.

A continuación, se sintetizan los aportes más importantes de algunas investigaciones que se encaminan al tema principal de este trabajo:

Manuel A. Benson en su estudio: Uniform Flood-Frequency Estimating Methods For Federal Agencies (BENSON, 1968). Un grupo interinstitucional federal ha estudiado los métodos más utilizados de análisis de frecuencia de inundación y ha comparado los resultados de aplicar estos métodos a un grupo seleccionado de sitios representativos de registros largos en diferentes partes del país. Con base en estas comparaciones y en otras consideraciones, se recomienda que todas las agencias del gobierno adopten un procedimiento uniforme para el análisis de frecuencia de inundación en los sitios donde los registros están disponibles. La distribución logarítmica tipo Pearson III se ha seleccionado como el método base.

José David Gamba Mejía, José Gabriel González Hernández en su trabajo de grado: Curvas De Rendimiento De Caudales Máximos Instantáneos Asociados A Diferentes Periodos De Retorno En Colombia, Caso De Estudio Río Magdalena (GAMBA MEJÍA & GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, 2015). En este estudio se realizó la construcción de las curvas de rendimiento hídrico para caudales máximos instantáneos y la determinación de la distribución que mejor representa los mismos para facilitar la aplicación de estos estudios en actividades de ingeniería hidrológica e hidráulica en el río Magdalena, con este fin se proporcionó parámetros de diseño y prevención a la hora de realizar construcciones dentro de la cuenca, y a su vez, utilizarse como criterio hidrológico para estimar caudales en aquellos sitios donde no se posea información de los mismos. Se concluyó en base al análisis realizado, la distribución de probabilidad que Página 20 de 52 mejor se ajusta a la cuenca del Magdalena es la distribución hidrológica GEV (método de momentos ponderados) debido a que fue la que mejor asimilo el comportamiento de los datos con un valor promedio de 2.43 y una desviación estándar de 1.941, cabe resaltar que se pueden utilizar las distribuciones de probabilidad PEARSON TIPO III (Método de momentos) y LOG-PEARSON TIPO (Método Sam) cuyas desviaciones estándar fueron 2.187 y 2.152 respectivamente, bastante cercanas a la distribución probabilística que mejor se ajustó.

El salvador (CARÍAS JUÁREZ, CHACÓN NOVOA, & MARTÍNEZ MÁRQUEZ, 2004), calculan los tiempos de concentración validando la metodología de estos y

calculan caudales máximos por las metodologías hidrometeorológicas de formula racional, soil conversation service, hidrogramas unitarios complejos e hidrogramas sintéticos, realizando a su vez un estudio estadístico de los caudales máximos determinando la función de distribución que mayor se ajuste, comparan los datos con metodologías puntuales y regionales y validan las metodologías determinando los factores de ajuste correspondiente.